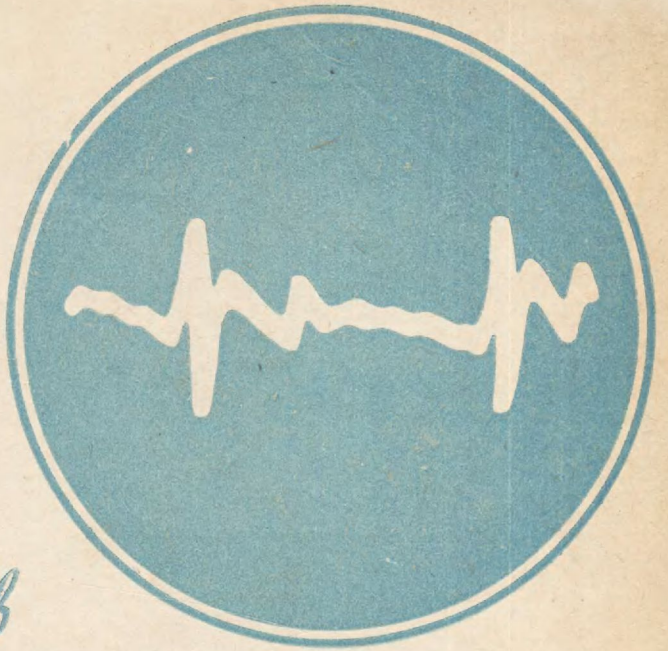

П. П. Орлов

САМОДЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА и ОПЫТЫ С НЕЙ

УЧПЕДГИЗ · 1960

П. П. ОРЛОВ

САМОДЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА И ОПЫТЫ С НЕЙ

ПОСОБИЕ ДЛЯ УЧИТЕЛЕЙ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УЧЕБНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ПРОСВЕЩЕНИЯ РСФСР
Москва 1960

САМОДЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА
И ОПЫТЫ С НЕЙ

Павел Павлович Орлов

Редактор *Т. С. Гусева*
Художник *В. Н. Андрушкевич*
Художественный редактор *Б. Л. Николаев*
Технический редактор *В. Л. Коваленко*
Корректор *О. М. Суздалова*

Сдано в набор 24/VI 1960 г. Подписано к печати 9/XI 1960 г. 60×92$^{1}/_{16}$. Печ. л. 7,25. Уч.-изд. л. 7,09. Тираж 12 000 экз. А08988. Заказ № 593.
Цена без переплета 1 р. 90 к., переплет 50 к.
С 1/I-1961 г. цена 24 коп.

* * *

Учпедгиз. Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.
Полиграфический комбинат Ярославского совнархоза, г. Ярославль, ул. Свободы, 97.

ВВЕДЕНИЕ

Пособие состоит из двух частей.

В первой части рассказано как изготовить набор электронных приборов (точнее — электронных устройств) для демонстрации различных опытов по физике. В набор входят пять приборов, каждый из которых можно использовать самостоятельно. Рекомендуемые приборы дадут известное представление о промышленной электронике. Этим самым пособие поможет учителю физики найти новые темы для работы физического кружка в области электроники.

Во второй части описано применение набора.

Пособие предназначено для учителей физики, в том числе и начинающих, которым раньше не приходилось самим строить приемники, усилители и другие электронные устройства.

В промышленности электронные приборы помогают поднять производительность труда, в этом и состоит их назначение. Назрела необходимость воспользоваться достижениями электроники для повышения «производительности труда» учителя физики. Электронные устройства обладают рядом качеств, которые делают их незаменимыми при решении этой задачи. Они очень быстро могут быть приведены в рабочее состояние: достаточно поставить на демонстрационный стол и включить в сеть; на это уходит несколько секунд. Они очень надежны: радиоприемники, например, безотказно работают много лет.

В современной промышленности и научных исследованиях электронные устройства получили широкое применение. Они могут и должны быть использованы в школе для проведения различных опытов на уроках физики.

Наблюдая за работой электронных приборов на протяжении всего срока обучения физике, учащиеся получат много сведений о различных электронных устройствах, научатся обращению с ними. Непосредственная работа учащихся с электронными приборами способствует повышению научного уровня преподавания и развивает у учащихся очень ценные практические навыки. Нет необходимости напоминать, как важны для учащихся знания по электронике в свете решений о перестройке системы народного образования.

Изготовление набора является своеобразным практикумом. Если учитель уже имеет некоторый опыт работы по электронике, тогда изготовление набора можно поручить учащимся. Но если учитель не имеет никакого опыта в конструировании электронных устройств, тогда «практикум» он должен пройти прежде всего сам. В этом случае ученикам можно поручить выполнение второстепенных операций. В процессе изготовления приборов учитель накопит необходимый опыт.

По всем вопросам, которые могут возникнуть при изготовлении набора, автор просит обращаться по адресу: г. Сталинград, проспект Ленина, 27. Пединститут, кафедра физики, П. П. Орлову.

ГЛАВА I

1. КАК ИЗГОТОВИТЬ НАБОР ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

СОСТАВ НАБОРА

Рекомендуемый набор разработан для кабинетов физики средних школ. В его состав входят:

1. Высоковольтный выпрямитель с круто падающей характеристикой. Напряжение на зажимах при холостом ходе 40 *кв*; ток короткого замыкания 10 *ма*. Выпрямитель питается переменным током от городской сети.

2. Выпрямитель для питания электронных устройств. Дает постоянный ток двух параметров: а) до 150 *ма* при напряжении до 300 *в*; б) до 100 *мка* при напряжении от 0 до 1600 *в*. В выпрямителе предусмотрена возможность регулирования напряжения.

3. Электронный осциллограф. В нем использована трубка 8ЛО29. Блок содержит электронный переключатель для одновременного наблюдения двух кривых и генератор напряжения развертки. Питание прибора осуществляется от выпрямителя, описанного в п. 2.

4. Усилитель низкой частоты. Выходная мощность усилителя 5 *вт*. Усилитель получает питание от выпрямителя, описанного в п. 2.

5. Тиратронный выпрямитель, управляемый фотоэлементом. Питается переменным током от городской сети.

НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ

Конструкция электронных устройств должна обеспечить электрическую безопасность при эксплуатации. Переменный ток напряжением 25 *в* и выше является, вопреки широко распространенному мнению, смертельно опасным. К сожалению, эта опасность часто недооценивается. Поэтому при конструировании и испытании приборов необходимо оградить экспериментатора от опасности поражения током.

Как показал анализ случаев поражения током, значительная часть их происходит в результате применения открытых рубильников и зажимов, неисправности выключателей и предохранителей. Часто причиной несчастного случая является и то, что какая-либо деталь, которая не должна находиться под напряжением, оказывается под напряжением вследствие неисправности устройства.

В описываемых конструкциях открытые рубильники не используются. Для соединения блоков применяются штепсельная розетка и штепсельная вилка (штепсельный разъем).

У некоторых устройств открытые токонесущие части все же необходимы, например выходные электроды у высоковольтного выпрямителя, вероятность прикосновения к которым очень велика.

Поэтому в описываемых ниже конструкциях ток ограничивается до 10 *ма*, что в 5 раз меньше границы опасного тока. При прохождении такого тока через тело экспериментатора он испытывает очень неприятные ощущения, но не теряет способность разжать пальцы и самостоятельно отключиться от цепи.

О правилах поведения экспериментатора будет рассказано во второй части книги, при описании опытов с набором.

Монтаж должен быть детально продуман и выполнен очень тщательно и жестко, чтобы исключить возможность попадания корпуса под напряжение.

Второе требование заключается в том, чтобы конструкцию всех узлов приблизить к конструкции фабричных электронных устройств.

Только при выполнении этого требования можно добиться безопасности при эксплуатации, прочности, универсальности, мобильности и др.

Третье требование к конструкции набора состоит в том, чтобы он стал органической составной частью кабинета физики. Для этого характеристики электронных устройств должны быть подобраны соответственно характеристикам других приборов, выпускаемых промышленностью для школьных кабинетов физики.

Наконец, конструкция должна быть надежной в работе. Подготовка устройства к работе должна состоять из включения его в сеть и максимально простой настройки.

СТАНОК ДЛЯ НАМОТКИ

Довольно часто возникает необходимость сделать намотку катушки. Для этой цели в школе надо иметь простейший станок, устройство которого показано на рисунке 1А. Очень желателен счетчик оборотов.

Для работы на таком станке внутрь каркаса изготовляемой катушки надо вставить деревянный цилиндр, собранный из трех

клиньев, чтобы его легче было вынимать. Цилиндр вдоль оси надо просверлить так, чтобы он плотно одевался на ось станка (рис. 1 Б).

Каркас катушки закрепляют на оси станка гайкой.

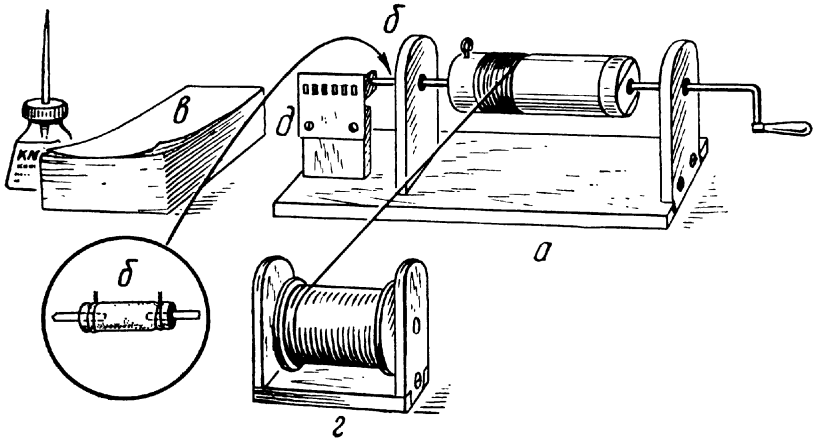

Рис. 1 А. Установка для намотки катушки на станке:

а — станок для намотки; *б* — соединение оси станка с осью счетчика резиновой трубкой; *в* — бумага для изоляции слоев; *г* — катушка с проводом, вращающаяся на шарикоподшипниках (на подставке); *д* — счетчик оборотов.

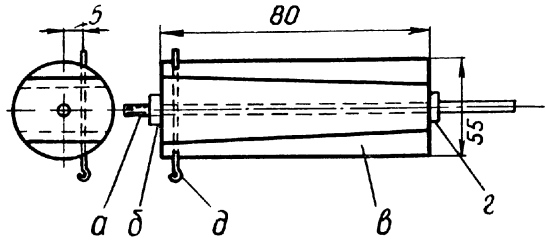

Рис. 1 Б. Деревянный разборный цилиндр для станка (в разрезе):

а — ось станка с резьбой; *б* — гайка; *в* — деревянный цилиндр; *г* — упор; *д* — стальная шпилька.

Катушка с проводом, предназначенным для намотки, должна находиться на отдельной подставке, которую рекомендуем укрепить на полу или на специальной полочке под столом. Ось этой катушки должна вращаться на шарикоподшипниках, чтобы при размотке не было разрывов тонкого провода.

ПАНЕЛЬ

Перед изготовлением панели надо проверить исправность деталей и приборов, которые будут установлены на ней (трансформатор, дроссель, лампы, конденсаторы, сопротивления и другие).

Затем надо убедиться, что рекомендуемые размеры достаточны для размещения всех деталей.

После этого составляют план размещения деталей.

При составлении плана следует руководствоваться следующими правилами:

1. Ручки управления, вход и выход устройства должны быть легко доступны.

2. Детали, не выдерживающие нагрева (электролитические конденсаторы, монтажные провода в полихлорвиниловой изоляции и др.), надо располагать по возможности дальше от нагревающихся деталей и приборов (электронных ламп, проволочных сопротивлений и т. п.).

3. Размещение деталей должно обеспечить электрическую безопасность.

4. Следует стремиться к тому, чтобы по возможности меньше иметь паразитных связей.

Последнее требует некоторых пояснений. Появление связей, вызванных ошибкой в конструкции (паразитной) может привести к тому, что устройство будет работать в режиме, не предусмотренном расчетами.

Связью в электронике обычно называют канал (образуемый деталями, монтажными проводами и т. п.), по которому часть энергии с выхода устройства может попасть на его вход.

Входными цепями в электронных устройствах являются цепи управляющих сеток. Борьба с паразитными связями сводится к защите сеточных цепей и сеток ламп от влияний других цепей. С этой целью стремятся сделать сеточные цепи возможно более короткими. Лампы надо устанавливать поэтому так, чтобы переходные конденсаторы (соединяющие анод одной лампы с сеткой другой) располагались непосредственно между соответствующими ножками ламповых панелей, а сетка первой лампы располагалась бы как можно ближе ко входу устройства. У лампы 6Ж7, которая используется как усилитель, сетка выведена к колпачку, находящемуся на верхней части баллона. Мы рекомендуем закрыть (экранировать) верх этой лампы и вывод сетки металлическим экраном, который надо заземлить.

На управляющую сетку может влиять экранная сетка или катод лампы, потенциалы которых могут оказаться меняющимися под действием электродвижущих сил, наводимых в монтажных проводах. Чтобы этого не случилось, конденсаторы, выравнивающие потенциал экранных сеток и катодов (развязывающих фильтров), рекомендуется припаивать непосредственно между ножками ламповой панели и заземленным проводом («землей»).

Составленный план размещения деталей позволит определить размеры панели.

В соответствии с планом из листового алюминия делают заготовки для панели и кожуха.

Резать алюминий надо ножовкой.

Чтобы придать заготовке нужную форму, ее зажимают между двумя прямоугольными брусками, прижимают к ней строганую доску и сгибают. Затем, аккуратно ударяя молотком по доске, добиваются, чтобы заготовка плотно облегла грань бруска.

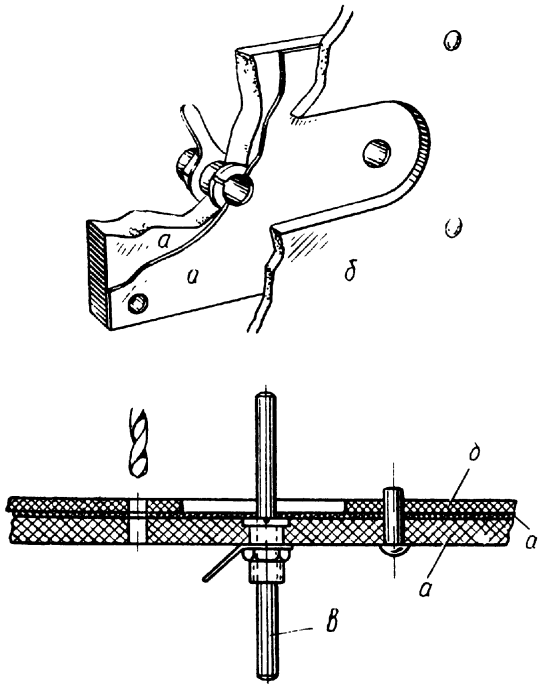

Рис. 2 А. Крепление штепсельного гнезда на панели:

а **— изоляция;** ***б*** **— панель;** ***в*** **— штифт, мешающий деталям сдвинуться при клепке.**

После изготовления панели размечают кожух и просверливают в нем мелкие отверстия. Фасонные отверстия выполняют следующим образом: по контуру просверливают ряд малых отверстий, а затем зубилом разрубают перемычки. Оставшиеся зубцы снимают драчовым напильником, кромку зачищают личным напильником. Вырубать отверстия зубилом не рекомендуем, так как края будут волнистыми из-за вытягивания материала, а получившуюся деформацию устранить очень трудно.

Внешний вид изделия зависит главным образом от того, как выглядит корпус. Поэтому берегите поверхность алюминия от царапин и вмятин. Если царапины получились, их надо тщательно зачистить шкуркой. Вмятины расправляют доской на стальной полированной плите. Надо помнить, что все дефекты поверхности становятся заметнее после окраски.

ШТЕПСЕЛЬНЫЕ РАЗЪЕМЫ

Для включения блоков в сеть и для подключения к ним различных приборов необходимы штепсельные разъемы однопроводных, двухпроводных и многопроводных линий. Примером штепсельного разъема являются вилка и штепсельная розетка, применяемые в квартирных электропроводках.

Конструкция однопроводного штепсельного разъема показана на рисунках 2А, 2Б, 2В.

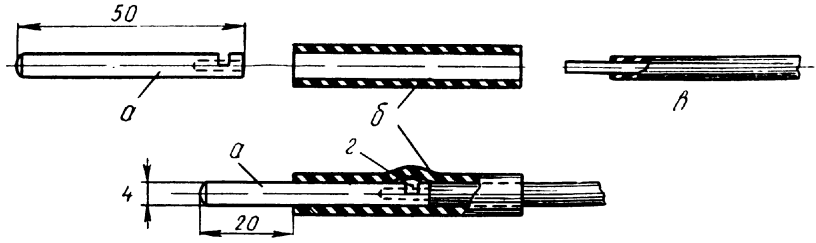

Рис. 2 Б. Однополюсная штепсельная вилка на конце провода:

а — вилка из латуни; *б* — полихлорвиниловая трубочка; *в* — провод; *г* — место спая.

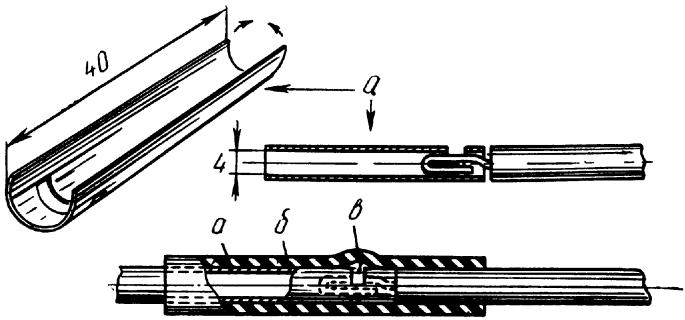

Рис. 2 В. Оборудование штепсельного гнезда на конце провода:

а — латунная трубочка; *б* — полихлорвиниловая трубочка; *в* — место спая.

Для двухпроводных линий штепсельный разъем можно сделать так. Изготовьте из меди или латуни два штыря (продольный пропил делать не следует). Оба штыря ввинтите в отверстия на планке из гетинакса (или текстолита) так, чтобы расстояние между осями штырей было 19 *мм*. К сверлению отверстий нужно отнестись очень внимательно, иначе штыри не будут

параллельны. Гнезда штепсельного разъема укрепите на стенке панели с помощью двух гетинаксовых пластинок (рис. 2 А).

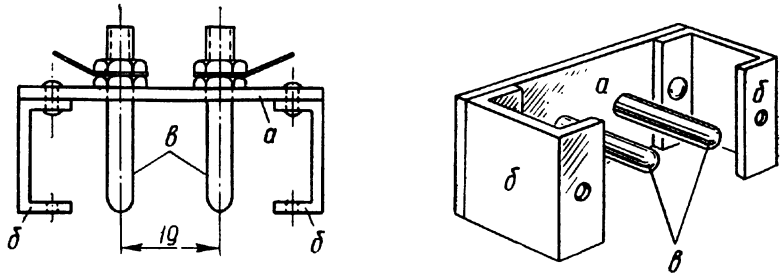

Рис. 3. Двухпроводный штепсельный разъем:
а — планка из гетинакса или текстолита; *б* — алюминиевая стойка; *в* — два латунных штыря.

КАБЕЛЬ

Для включения блока электронно-лучевой трубки собирают кабель из восьми отдельных одножильных проводов в полихлорвиниловой изоляции диаметром от 0,5 *мм* до 0,8 *мм*, с толщиной изоляции 0,6 *мм* и выше. Такой провод имеет электрическую прочность изоляции 10 *кв*. Для изготовления кабеля провода разрезают на куски длиной 800—1000 *мм*. Изоляция проводов должна быть различных цветов и оттенков. Каждый провод очищают от изоляции с одного конца на 5—6 *мм*, с другого — на 25 *мм*. Длинные концы будут подпаиваться к цоколю лампы, а короткие — к ламповой панели. Провода в образовавшемся жгуте выравнивают и слегка скручивают (один или полтора оборота на 1 *м* длины), чтобы он лучше изгибался. Жгут слегка обматывают нитками, концы связывают и надевают на него трубку из полиэтилена, полихлорвинила или из резины.

Длина трубки должна быть на 35 *мм* меньше длины жгута. С одной стороны на провода надевают полихлорвиниловые или резиновые трубочки длиной 15 *мм*.

После того как эти концы проводов будут подпаяны к лепесткам ламповой панели, трубочки надвигают на лепестки панели. Для надежности их приклеивают клеем БФ или эмалевой краской. Теперь трубку, в которую заключен жгут, сдвигают так, чтобы ее конец вплотную примыкал к концам трубочек, одетых на провода. В этом положении трубку закрепляют нитками (шелк, капрон).

На другом конце кабеля с проводов снимают изоляцию на 25 *мм*, облуживают и заправляют их в цоколь от бывшей электронной лампы. Предварительно должна быть составлена схема размещения проводов с указанием номера ножки и цвета изоляции провода.

При осторожном вытягивании проводов из ножек цоколь одновременно надо осаживать, насколько позволит изоляция.

Вытянутый до отказа провод сгибают под углом. Омметром проверяют правильность (соответствие схеме) подключения к ножкам проводов. Затем провода припаивают к ножкам, а выступающие концы обрезают. В результате конец трубки, заключающей в себе провода, будет скрыт внутри цоколя, а провода будут подключены к ножкам (рис. 4). Для прочности в цоколь можно налить воск.

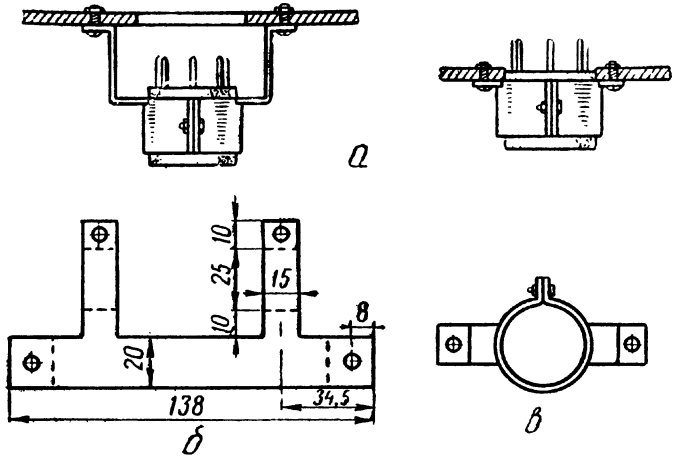

Рис. 4.

а — два варианта использования цоколя от перегоревшей электронной лампы в качестве элемента штепсельного разъема; *б* — заготовка зажима; *в* — готовый зажим.

Когда изготовление всех самодельных деталей закончено, приступают к сборке — механическому соединению деталей и укреплению их на панели. Некоторые детали имеют специальные приспособления для крепления: ушки, винты, гайки. Для крепления других придется изготовить скобы, планки, лепестки.

В процессе сборки рекомендуем шире использовать заклепки. Там, где крепления будут сделаны с помощью винтов и гаек, их необходимо покрыть эмалевой краской, чтобы крепление не ослабло.

ПАЯНИЕ

Начинать эту работу надо с вычерчивания копии принципиальной схемы. Такая копия нужна для того, чтобы после каждого паяния отмечать места выполненного соединения. Отметки цветным карандашом позволяют избежать самой распространенной ошибки — пропуска соединений. Припой берется оловянно-свинцовый ПОС-40. Флюсом служит только канифоль. Применение паяльной жидкости или нашатыря не допускается. Избытка канифоли надо избегать. Жидкая канифоль, стекая, может оказаться в малодоступном месте, при работе нарушить контакт, а обнаружить это не всегда бывает легко.

Если мелкая деталь припаивается к массивной, надо следить за тем, чтобы обе детали хорошо прогрелись (припой смачивает только хорошо прогретые поверхности). По остывании припоя необходимо проверять механическую прочность контакта.

При монтаже надо предусмотреть свободный доступ к любому контакту. Если этого не сделать, то при замене деталей или исправлении ошибок монтажа появится необходимость перепаивать большое число контактов, могут возникать новые ошибки. Кроме того, при отсутствии свободного доступа к местам пайки неизбежны прикосновения горячим паяльником к изоляции проводов, которая мгновенно плавится. Для монтажа надо взять одножильный провод диаметром 0,5—0,8 *мм* в разноцветной полихлорвиниловой изоляции. В отдельных случаях требуется провод большего сечения. При решении этого вопроса следует исходить из нормы: 10 *а* на 1 *мм*^{2}. Толщина изоляции должна быть не менее 0,5 *мм*. Этим требованиям удовлетворяет провод марки МПВ (провод монтажный виниловый). Гибкий провод, у которого проводящая часть состоит из нескольких скрученных вместе жил, применять не рекомендуем. Прочность полихлорвиниловой изоляции очень велика: 20 *кв* на миллиметр.

РУЧКИ

Переменные сопротивления, переключатели и другие детали продаются без ручек, последние приходится изготовлять самим. Для деревянных ручек наиболее подходящим материалом являются бук и береза. Ручки вытачивают на токарном станке, для насадки на ось в них сверлят отверстие диаметром 6 *мм* (оси всех приборов, входящих в набор, имеют одинаковый диаметр — 6 *мм*). Поверхность ручки шлифуют, красят и покрывают лаком.

Ручки закрепляют на оси стопорным винтом, на переключателе их крепят шпилькой, для переменных сопротивлений специального крепления не требуется.

Отметки «включено», «выключено» и другие наносят белой масляной краской.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

При испытании и настройке электронного устройства необходимо измерять напряжение, которое на отдельных участках цепи составляет 220, 300, 1000 и 40 000 *в*. Отсюда ясно, что испытание нельзя поручать учащимся, а сам учитель должен соблюдать большую осторожность и определенный порядок:

1. Законченное электронное устройство удобно расположите на столе. Кроме него на столе оставьте авометр и отвертку с длинной ручкой из диэлектрика. Все остальное снимите со стола и приведите в порядок все помещение.

2. До включения устройства в цепь тщательно осмотрите монтаж. Проверьте механическую прочность креплений и пайки.

3. Держатель пробного контакта должен быть достаточно длинным (не менее 60 *мм*). Зажимы должны прочно и жестко охватывать провод.

4. Для проверки используйте только исправный авометр.

5. Перед каждым переключением авометра убедитесь, что устройство отключено от сети, а конденсаторы разряжены.

6. Сделайте заземление корпуса и включите устройство в цепь. С помощью авометра убедитесь, что ручки управления не находятся под напряжением.

7. После включения устройства в цепь не прикасайтесь ни к авометру, ни к соединительным проводам, ни к деталям устройства, за исключением ручек управления.

8. Если необходимо измерить напряжение между корпусом прибора и какой-либо точкой цепи, авометр надо соединить сначала с корпусом (провод должен держаться без помощи рук), а затем с исследуемой точкой.

9. Устройство, напряжение которого не превышает 300 *в*, отключать от сети каждый раз (при определении напряжения на отдельных участках) не обязательно, но при этом надо соблюдать следующие правила:

а) сначала соединить авометр с корпусом, а затем с исследуемой точкой;

б) соединение с исследуемой точкой осуществляется прикосновением штекера авометра, который держат только за изолированную часть. Зажим в этом случае должен быть снят.

Другие виды опасности при постройке электронных устройств, по сравнению с опасностью поражения током, незначительны. Возможен ожог от паяльника. На этот случай полезно иметь мазь от ожогов. На случай порезов необходимо иметь настойку йода, вату, бинты. Хорошо иметь индивидуальный пакет.

Во всех несчастных случаях обязательно обратитесь к врачу.

2. ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

1. Выпрямитель должен давать ток не менее 0,2 *ма* при напряжении не меньше 30 *кв*, при этом на одном электроде потенциал должен быть +15, а на другом —15 *кв*.

2. Характеристика выпрямителя должна быть круто падающей. При коротком замыкании напряжение на его электродах должно уменьшаться до нуля, а ток возрастать не более, чем до 10 *ма*.

3. Короткие замыкания не должны выводить выпрямитель из строя.

4. Питаться выпрямитель должен от сети переменного тока с напряжением 127 или 220 *в*.

Первичную обмотку повышающего трансформатора соединяют последовательно с ограничивающим сопротивлением $R_{огр}$. Один конец вторичной обмотки заземляют, его потенциал остается неизменным и равным нулю, а на втором конце потенциал будет меняться в пределах от + 20 *кв* до — 20 *кв*. В первую половину периода ток пройдет через лампу $Л_1$, а во вторую — через лампу $Л_2$ (рис. 5).

Конденсаторы C_1 и C_2 зарядятся до указанных потенциалов.

Важно отметить, что в некоторый момент времени (в точке *3* на рис. 5) потенциал катода достигнет + 20 *кв*, а потенциал анода лампы $Л_1$ около — 20 *кв*. Максимальная разность потенциалов между анодом и катодом составит 40 *кв*. Это напряжение является обратным по отношению к тому, при котором через лампу проходит ток. Во вторую половину периода такой же величины обратное напряжение будет приложено к лампе $Л_2$, поэтому на электродах высоковольтного выпрямителя мы получим напряжение в два раза большее, чем во вторичной обмотке трансформатора. Рассматриваемая схема носит название схемы выпрямителя с удвоением напряжения. Особенность ее состоит в том, что обратное напряжение на кенотронах равно выпрямленному в отличие от других схем, где обратное напряжение может превышать выпрямленное.

Для выпрямления тока применяем кенотроны 2Ц2С. Катоды этих ламп подогревные. Лампы устойчиво могут работать лишь в довольно узком интервале температур, а значит и при неизменных токе и напряжении накала, соответствующих паспортным данным. Напряжение накала составляет 2,5 *в*, ток накала 1,75 *а*.

Напряжение же главного трансформатора при регулировании режима его работы не остается постоянным, поэтому для подогревателей катодов в цепь переменного тока включают отдельный трансформатор накала. Цепь первичной обмотки трансформатора накала должна иметь предохранитель.

Конденсаторы C_1 и C_2 рассчитаны на рабочее напряжение 20 *кв*. Емкость каждого конденсатора 1000 *пф*. При такой емкости максимальный запас энергии составляет 0,4 *дж*.

Минимальные размеры корпуса должны быть $240 \times 280 \times 360$ *мм*^{3}. При определении размеров мы руководствуемся следующим. Детали и приборы внутри корпуса должны быть расположены так, чтобы предотвратить возникновение искрового разряда внутри корпуса и уменьшить интенсивность коронного разряда. Следует помнить, что напряжение, при котором пробивается воздушный промежуток, зависит от формы электродов и рода тока. Легче всего возникает разряд между острием и плоскостью, если при этом острие положительно, а плоскость отрицательна. Пробивное напряжение в этом случае обычно не превышает 1 *кв* на каждый *мм* воздушного промежутка.

Из рассматриваемой схемы (рис. 5) видно, что наивысший потенциал по отношению к земле равен 20 *кв*. При таком потенциале пробивается промежуток в 20 *мм*. Для предотвращения пробоя увеличим промежуток в 3 раза — до 60 *мм*. (Опыт эксплуатации высоковольтного выпрямителя показывает, что принятый коэффициент запаса достаточен, хотя в технике принят бо́льший коэффициент запаса.) Отсюда размер корпуса по

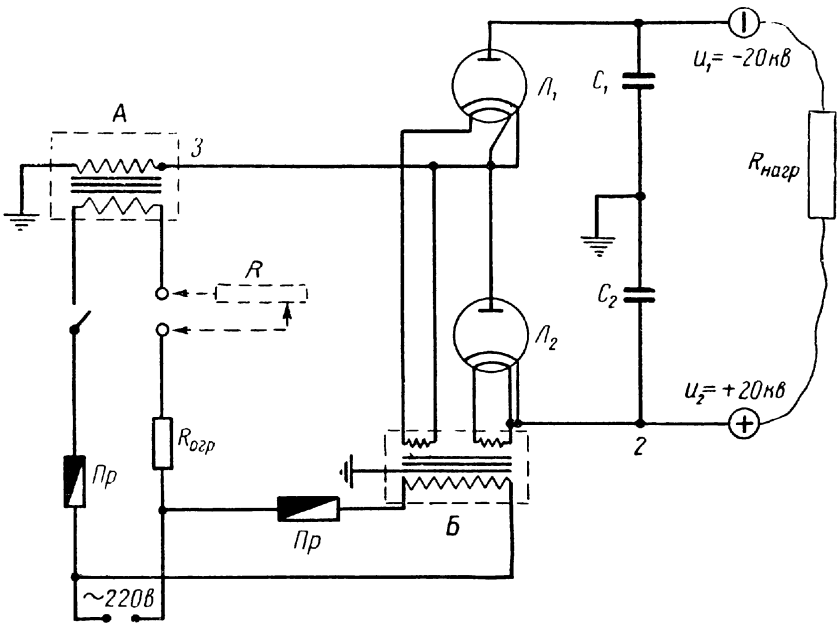

Рис. 5. Принципиальная схема высоковольтного выпрямителя:
А — повышающий трансформатор; *Б* — трансформатор накала; $Л_1$, $Л_2$ — кенотроны 2Ц2С; C_1, C_2 — конденсаторы; $R_{огр.}$ — ограничивающее сопротивление; $R_{нагр.}$ — сопротивление нагрузки; *Пр* — предохранители; *R* — реостат 600 *ом*, 1 *а*.

линии, проходящей через электроды выпрямителя, составляет 240 *мм*.

Делая подобные расчеты, найдем, что глубина корпуса должна составлять 180 *мм*. Высота корпуса определяется по размерам деталей и ламп, с учетом промежутков, необходимых для предотвращения пробоя, и составляет 360 *мм*.

Стенки выпрямителя, имеющие размеры 240×360 *мм*^{2}, делают съемными. Все детали крепятся к оставшимся четырем стенкам.

Цепи первичных обмоток, во избежание пробоя, прокладывают в металлических трубках; все детали и приборы в первичных цепях — выключатели, ограничивающие сопротивления, предохранители и прочее — защищают экранами из листового металла.

Величина ограничивающего сопротивления должна составлять 205 *ом*. Как и обмотки, ограничивающее сопротивление долж-

но быть рассчитано на короткое замыкание, то есть на ток 1,072 *а*. Изготовить такое сопротивление можно будет из никелинового провода ПЭН 0,15 длиной 9,2 *м*. Спираль из провода ПЭН 0,15 должна иметь диаметр 3 *мм*.

Ограничивающее сопротивление помещают в закрытую металлическую коробку, которую укрепляют в верхней части корпуса выпрямителя.

Если напряжение в сети 127 *в*, тогда величина ограничивающего сопротивления должна быть 59,1 *ом*.

ДЕТАЛИ И ПРИБОРЫ, ОБРАЗУЮЩИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

Для изготовления высоковольтного выпрямителя необходимы следующие детали и приборы:

Повышающий (главный) трансформатор	1 шт.
Трансформатор накала	1 шт.
Кенотроны 2Ц2С	2 шт.
Ограничивающее сопротивление (205 *ом*, 1,1 *а*)	1 шт.
Конденсаторы (1000 *пф*, 20 *кв*)	2 шт.
Проходной изолятор с болтами	2 шт.
Шар пустотелый диаметром 50 *мм*	2 шт.
Трубка металлическая диаметром 10 *мм*	40 *см*.
Выключатель	1 шт.
Колодки для предохранителей	2 шт.
Корпус из листового металла с крышками	1 шт.
Гнездо штепсельное	2 шт.
Вилка штепсельная одинарная	2 шт.
Шнур со штепсельной вилкой и колодкой	1 шт.
Провод монтажный в виниловой изоляции	1,5 *м*.

а) Повышающий (главный) трансформатор

При расчете главного трансформатора надо исходить из минимальной стоимости его при заданной технической характеристике. Но мы прежде определим величину коэффициента трансформации и ограничивающего сопротивления.

Если трансформатор будет включен в сеть 220 *в*, коэффициент трансформации = 107,2; $R_{огр.} = 205$ *ом*.

Эффективное напряжение на концах вторичной обмотки $U_2 = 14{,}2$ *кв*. Максимальное значение тока вторичной обмотки (при ее коротком замыкании) 0,01 *а*. Это позволяет найти максимальный ток в первичной обмотке

$$i_1 = 0{,}01K = 1{,}072\,а.$$

Размеры и стоимость трансформатора зависят от выбранной плотности тока в обмотках. Будем исходить из плотности тока,

равной 1,5 *а/мм²*. Ток во вторичной обмотке при коротком замыкании может достигать 0,01 *а*. Исходя из принятой плотности тока, для вторичной обмотки выбираем провод ПЭЛ 0,09 сечением 0,0000636 *см²*. Ток первичной обмотки больше всего при коротком замыкании вторичной, когда он составляет 1,072 *а*. Исходя вновь из той же плотности тока, выбираем для первичной обмотки провод ПЭЛ 0,96.

Магнитопровод возьмем двухстержневый (открытый трансформатор). На одном стержне разместим первичную обмотку, а на другом — вторичную.

Приняв, что максимальное значение индукции в стали сердечника составляет 13 000 гаусс, получим:

Внутреннее сечение каркаса обмоток	24,5 *см²*
Высота окна	7,4 *см*
Ширина окна	1,9 *см*
Число витков в первичной обмотке	249
Число витков во вторичной обмотке	26 750
Масса стали	5670 *г*
Масса меди в первичной обмотке	302 *г*
Масса меди во вторичной обмотке	334 *г*
Сопротивление вторичной обмотки	16 200 *ом*
Длина оси магнитопровода	40,8 *см*
Сечение стали	20,7 *см²*

Изготовление главного трансформатора начинают с обмоток. Прежде делают вторичную обмотку. Каркас для обмотки можно изготовить самим. Для этого любую толстую бумагу разрезают на ленты шириной 74 *мм* и такой длины, чтобы толщина стенок бумажного цилиндра получилась в 1 *мм*.

Затем из тонкой плотной бумаги вырезают ленту шириной 80 *мм* и такой длины, чтобы после намотки этой ленты на цилиндр диаметр последнего увеличился бы до 56 *мм*. Ленту из толстой бумаги смазывают клеем БФ или жидким крахмальным клейстером. Часть ленты, длиной 176 *мм*, оставляют несмазанной. Дав клею немного впитаться в бумагу, навертывают на цилиндр сначала ленту из тонкой бумаги, а затем, начав с сухого конца, ленту из толстой бумаги. Каркас уплотняют прокатыванием цилиндра и оставляют на сутки для высыхания. Затем его пропитывают (с помощью кисти) горячим парафином. После вторичной сушки можно приступить к намотке провода.

С каждого края каркаса оставляют свободную кромку шириной в 1 *мм*. Длина первого слоя составит 72 *мм*, в нем будет 720 витков. Всех слоев будет 50. Длину каждого следующего слоя надо обязательно уменьшать, чтобы верхний, расположенный точно в середине каркаса, содержал 360 витков и был расположен на расстоянии 19 *мм* от концов каркаса.

Выполнять эту работу надо с помощью намоточного станка. На деревянную болванку с каркасом надевают резиновое

кольцо. Болванку насаживают на ось намоточного станка и плотно затягивают гайки. Короткой резиновой трубкой ось станочка соединяют с осью счетчика.

Катушку с проводом, из которого будет состоять вторичная обмотка, насаживают на ось подставки.

При начале намотки к проводу ПЭЛ 0,09, из которого выполняется обмотка, надо припаять мягкий электрический шнур в шелковой оплетке. Конец шнура кладется на каркас, привязывается хлопчатобумажными нитками и приклеивается шеллачным лаком. Спай изолируют согнутым листком бумаги. За процессом намотки очень удобно наблюдать в лупу с 2—3 кратным увеличением. Такую лупу зажимают в штативе.

При намотке правой рукой вращают ручку станочка, а левой — придерживают и слегка натягивают провод. Вращать надо медленно. Провод должен ложиться на каркас плотно — виток к витку.

При намотке очень опасным дефектом является сползание витка. Чтобы избежать этого, первые и последние витки провода в каждом слое приклеивают шеллачным лаком, которого достаточно по одной капле через каждые 90° поворота. Сплошное кольцо из лака делать нельзя.

Слои тщательно изолируют друг от друга, так как максимальная амплитуда междуслойного напряжения достигает 1080 *в*.

Для изоляции слоев друг от друга заготавливают конденсаторную бумагу толщиной 0,024—0,025 *мм*. В этом случае прослойку делают из трех слоев. Если же толщина бумаги достигает 0,070 *мм*, то изоляцию делают из двух слоев. Ленты удобнее подкладывать левой рукой, удерживая провод и каркас правой.

При обрыве провода незаконченный слой разматывают и провод удаляют. Место спайки делают в самом начале слоя.

Когда намотка будет выполнена, к проводу ПЭЛ 0,09 припаивают мягкий электрический шнур в шелковой оплетке, которым выполняют один виток. Этот виток прочно закрепляют нитками и лаком.

После этого к концу выводного проводника припаивают провод высокого напряжения в толстой резиновой изоляции, длина которого не менее 12 *см*. Место спая изолируют и нитками закрепляют так, чтобы провод отходил под прямым углом к поверхности намотки (вдоль радиуса). Вывод надо сделать на равных расстояниях от концов намотки.

На обмотку укладывают изоляцию из бумаги. Толщина слоя должна быть 3 *мм*. Через каждые 3—4 слоя бумагу затягивают нитками. На слой изоляции кладут экран из фольги, который заземляют.

Для повышения прочности изоляции вторичную обмотку пропитывают церезином или парафином. Накануне обмотку ставят в сушильный шкаф с автоматически регулируемой температурой. Сушить надо при температуре не выше 110°.

Для парафинирования нужен металлический сосуд с высокими стенками. На дно сосуда кладут бинт, концы которого выступают наружу не менее, чем на 10 *см* каждый.

Обмотку, вынутую из сушильного шкафа, тотчас переносят в сосуд с расплавленным парафином (или церезином), нагретым до 100°. Сосуд ставят под колокол воздушного насоса. В центр тарелки воздушного насоса надо ввинтить короткий патрубок.

Для откачивания воздуха используют насос Комовского. Когда давление под колоколом будет понижено до 30—40 *мм* рт. ст., откачивание воздуха прекращают, открывают кран и впускают под колокол атмосферный воздух. После небольшой выдержки вновь понижают давление до 10 *мм* рт. ст. Когда выделение воздуха из сосуда с парафином прекратится, сосуд вынимают из-под колокола.

Для лучшего уплотнения парафина сосуд надо поставить в ванну с холодной водой или на массивную металлическую плиту, а верхний слой парафина до полного охлаждения основной массы поддерживать в жидком состоянии с помощью электрического паяльника или электрической лампочки.

Чтобы вынуть обмотку, сосуд с парафином погружают в кипяток на несколько секунд и, взявши за бинт, вынимают обмотку с парафином.

Избыток парафина срезают с катушки ножом. Весь процесс парафинирования занимает 5—6 часов.

Замечания:

1. Чтобы уменьшить возможность выпадения крайних витков и обрывов в намотке, можно всю обмотку обвязать вдоль каркаса нитками.

2. До парафинирования необходимо проверить целостность обмотки с помощью омметра. Сопротивление обмотки должно быть 26 000 *ом*.

3. Чтобы сохранить форму обмотки, перед погружением ее в парафин внутрь каркаса вставляют 2—3 упругих кольца из проволоки.

4. Плавят парафин в водяной ванне.

Выше указывалось, что для первичной обмотки трансформатора применяется провод ПЭЛ 0,96. При выбранном размере катушки 249 витков уложатся в 4 слоя. Скрепляют обмотку изоляционными лентами, длиной по 160 *мм*, как показано на рисунке 6 А.

Для изоляции слоев друг от друга каждый из них покрывают лаком и обертывают слоем плотной бумаги, тоже пропитанной лаком. К началу и концу обмотки (проводу ПЭЛ 0,96) припаивают проводник длиной около 300 *мм* в виниловой изоляции. Места спаев изолируют (рис. 6 Б).

В последнем слое витки распределяют вдоль всего каркаса. Выводы делают в одном месте, концы шнура скручивают. Когда намотка будет закончена, всю катушку еще раз пропитывают

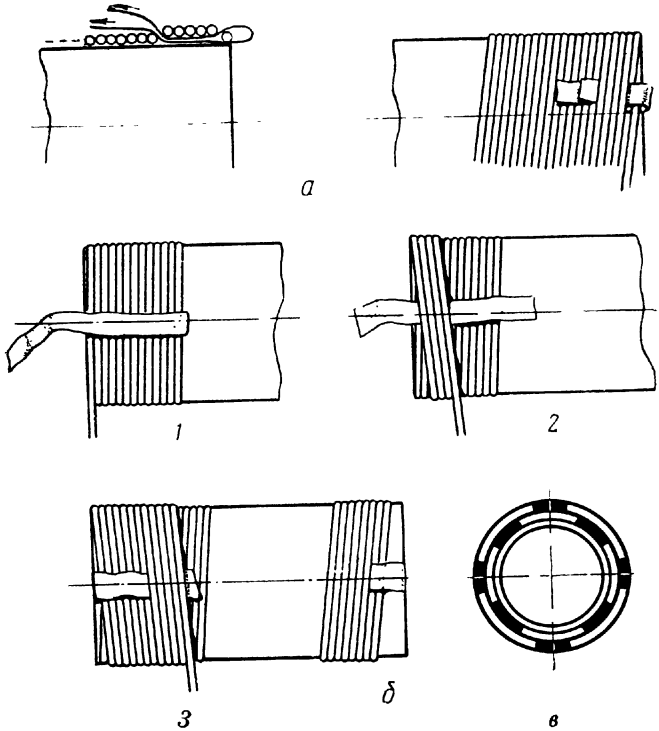

Рис. 6 А. Закрепление обмотки лентой из конденсаторной бумаги:

а — закрепление провода в конце слоя; *б* — закрепление провода в начале слоя, *в* — готовая обмотка (вид сбоку).

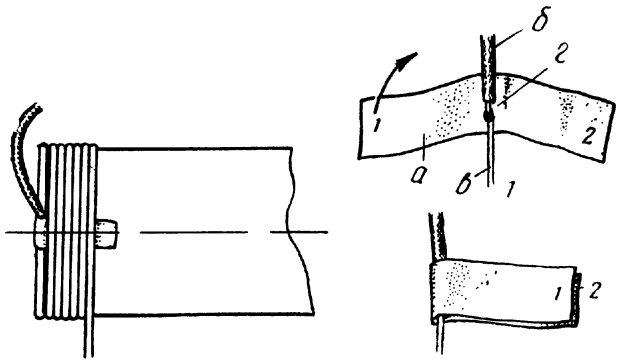

Рис. 6 Б. Способ закрепления начала обмотки на каркасе:

а — изоляционная лента; *б* — гибкий провод; *в* — провод ПЭЛ; *г* — место спая.

лаком, обертывают бумагой и кладут еще один слой провода ПЭЛ 0,2 или 0,3. Этот слой будет служить экраном. Наружный диаметр первичной обмотки должен получиться 67 *мм*.

Сердечник трансформатора. Размеры и форма сердечника показаны на рисунке 7. Материалом служит сталь Э4 АА толщиной 0,35 *мм.*

Вырезанные уголки выравнивают киянкой, собирают и, плотно стянув проволокой, опиливают напильником.

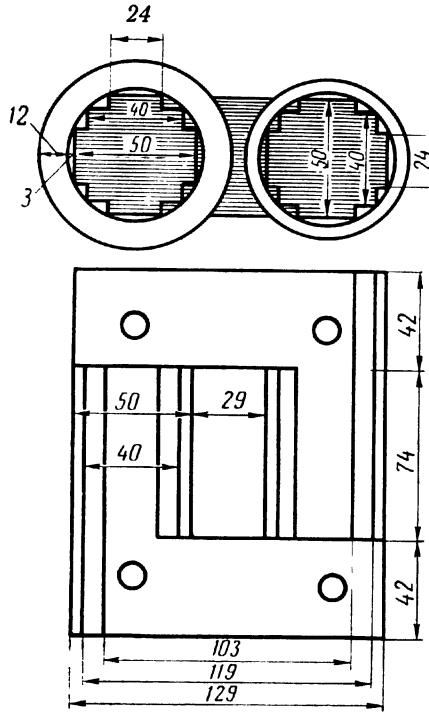

Рис. 7. Сечение и общий вид стального сердечника повышающего трансформатора.

Каждый уголок с одной стороны лакируют и собирают сердечник.

Для спрессовывания уголков, внутрь надетого каркаса надо вставить деревянные клинья, при этом нельзя повредить обмотки. Соединение частей магнитопровода осуществляют с помощью четырех пластин из стали, которые стягивают болтами. Пластины одновременно используют для крепления трансформатора к панели выпрямителя. Болты и пластины должны быть изолированы друг от друга и от магнитопровода лаком.

Если напряжение сети в школе не 220, а 127 *в,* тогда ограничивающее сопротивление равно 51,3 *ом,* коэффициент трансформации равен 215. В первичной обмотке должно быть 124 витка (провод ПЭЛ 1,35), рассчитанных на ток 2,15 *а.* Все остальное остается без изменения.

б) Трансформатор накала

Трансформатор накала будет работать в более тяжелых условиях, так как он не выключается во время урока. Тем не менее можно исходить из тех же значений индукции и плотности тока, какие были приняты для главного трансформатора.

Опуская вычисления, приведем результаты расчета:

Внутреннее сечение каркаса	5,6 *см*^{2}
Высота стержня	4,1 *см*
Внутренний диаметр каркаса первичной обмотки	2,7 *см*
Ширина окна	1,2 *см*
Число витков первичной обмотки	1830
Число витков в каждой секции вторичной обмотки	21
Масса стали	676 *г*
Масса меди в первичной обмотке	91 *г*
Масса меди во вторичной обмотке	60 *г*

Форма и размеры трансформатора показаны на рисунке 8. Намотку производят на станке. Для первичной обмотки изго-

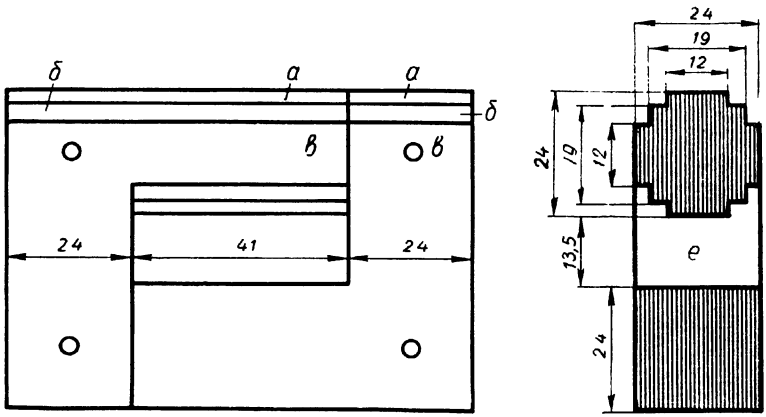

Рис. 8. Общий вид и сечение стального сердечника трансформатора накала.

товляют каркас из картона толщиной 1 *мм*. Каркас должен иметь щечки из этого же картона.

Первичная обмотка должна состоять из 14 слоев провода ПЭЛ 0,27 (в каждом слое по 130 витков). Слои изолируют друг от друга телефонной бумагой или калькой.

Поверх первичной обмотки кладут экран ввиде слоя провода ПЭЛ 0,27. Экран изолируют с обеих сторон и заземляют.

Вторичную обмотку, которая будет состоять из 2 слоев (11 и 10 витков) провода ПЭЛ 1,25 готовят на деревянной болванке диаметром 4,2 *мм*. Обмотку пропитывают лаком.

Вторая секция имеет такие же размеры. Каждую секцию и выводы оплетают бумажными лентами, толщина слоя которых соответственно должна составлять 2 и 3 *мм*, и обвязывают нитками. После этого собирают трансформатор. Общий вид трансформатора накала показан на рисунке 9.

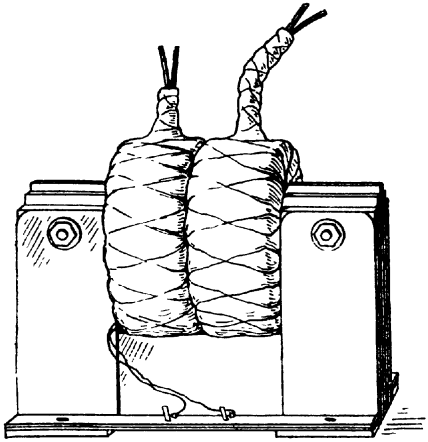

Рис. 9. Общий вид собранного трансформатора накала перед парафинированием.

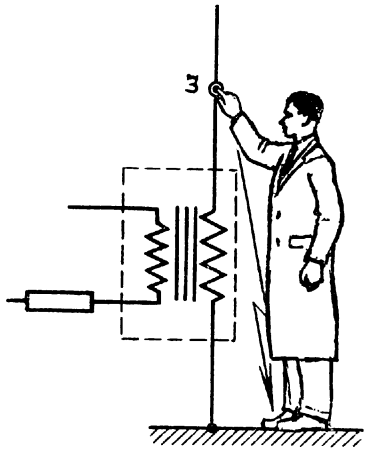

Рис. 10. Попадание оператора под напряжение вторичной обмотки высоковольтного трансформатора.

Собранный трансформатор включают в сеть и проверяют падение напряжения на концах вторичных обмоток. Трансформатор годен, если он не нагревается и падение напряжения составляет 2,25—2,75 *в*. Если напряжение в школьной сети не 220, а 127 *в*, тогда число витков в первичной обмотке должно быть 1060, а провод нужен ПЭЛ 0,38. Вторичные обмотки остаются без изменений.

в) Ограничивающее сопротивление

Представим, что произошла авария: оператор присоединился к участку цепи, обозначенному на рисунках 5 и 10 цифрой *3*, и через пол и корпус прибора оказался включенным в цепь вторичной обмотки повышающего трансформатора. В этом случае вторичная обмотка будет замкнута на очень малое сопротивление, которое мы не будем учитывать. Ток в первичной обмотке будет равен

$$i_1 = Ki_2, \qquad (1)$$

где K — коэффициент трансформации. Ограничивающее сопротивление $R_{\text{огр}}$ выбрано таким, чтобы при протекании по нему

тока $i_1 = Ki_2$ падение напряжение на нем было равно приложенному, то есть напряжению сети переменного тока (127 или 220 *в*).

$$i_1 \cdot R_{огр.} = U_{сети} \ . \qquad (2)$$

Так как падение напряжения происходит на ограничивающем сопротивлении, то напряжение, приложенное к первичной обмотке повышающего трансформатора, практически будет равно нулю. Следовательно, и на концах вторичной обмотки напряжение будет ничтожно мало.

Величину ограничивающего сопротивления легко вычислить из уравнения (2). По условию величина тока во вторичной обмотке трансформатора при коротком замыкании не должна превышать 0,01 *а*, значит

$$R_{огр.} = \frac{U_{сети}}{Ki_2} = \frac{100U_{сети}}{K}, \qquad (3)$$

откуда ток i равен

$$i_1 = Ki_2 = 0{,}01K. \qquad (4)$$

Пользуясь таблицей, по величине тока можно определить толщину провода, необходимого для изготовления ограничивающего сопротивления $R_{огр.}$. Такое сопротивление, включенное в цепь первичной обмотки повышающего трансформатора, обеспечивает безопасность устройства.

Реальная опасность может возникнуть, если провода, идущие к ограничивающему сопротивлению, окажутся замкнутыми, и первичная обмотка повышающего трансформатора окажется включенной в сеть без ограничивающего сопротивления. Поэтому конструкция высоковольтного выпрямителя должна полностью исключить эту опасность.

г) Корпус выпрямителя

Минимальные размеры корпуса составляют $240 \times 180 \times 360$ *мм*^{3}. Переднюю и заднюю стенки крепят по углам трехмиллиметровыми винтами. Для этого у каждой из вершин корпуса прикреплен угольник из мягкой стали (см. рис. 14 и 15). Разметка верхней, боковой и задней стенок корпуса показана на рисунке 11.

Для коробки, в которой размещают ограничивающее сопротивление, делают из того же материала, что и корпус только две стенки. Размеры коробки указаны на рисунке 12. Укрепив с помощью заклепок вырезанные стенки коробки между верхней и задней стенками корпуса, образуется закрытая коробка.

К корпусу приклеивают ножки высотой 6—8 *мм* из резиновых пробок.

Корпус с обеих сторон надо выкрасить светлой эмалью, но внутреннюю поверхность коробки, в которой разместится ограничивающее сопротивление, не красят.

СБОРКА ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Начинают эту работу с коробки ограничивающего сопротивления. Нижнюю и внутреннюю поверхности коробки оклеивают листовым асбестом. Размещение деталей показано на рисунке 12.

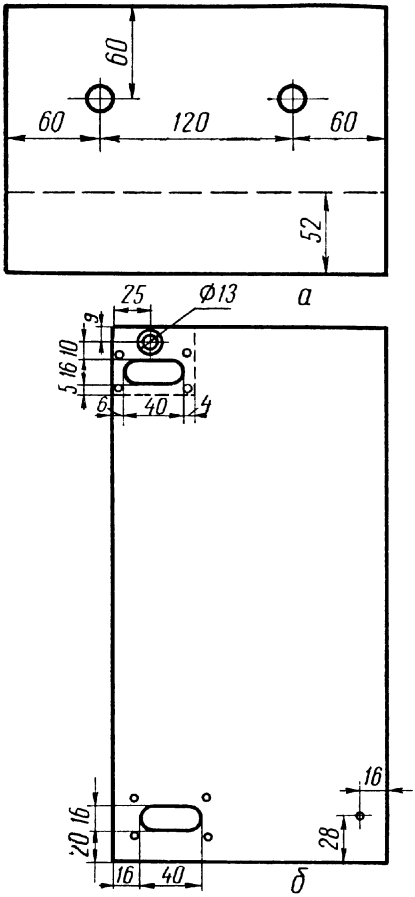

Рис. 11. Разметка стенок корпуса высоковольтного выпрямителя:
а — разметка верхней стенки; *б* — разметка боковой стенки.

Как видно из рисунка, в коробке, кроме ограничивающего сопротивления, надо укрепить предохранители обоих трансформаторов, выключатель главного трансформатора и штепсельные гнезда для включения дополнительного сопротивления в цепь первичной обмотки главного трансформатора.

Колодочки для предохранителей можно изготовить самим из латуни и гетинакса. Устройство их показано на рисунке 13.

Все соединения внутри камеры ограничивающего сопротивления выполняют медными эмалированными проводами ϕ1,5—2,0 *мм*. Для ввода переменного тока используются два штыря (рис. 14).

На дно корпуса ставят оба трансформатора и временно укрепляют. Место каждого видно из рисунка 15. Выводы первичных обмоток обоих трансформаторов подводят внутрь коробки-экрана и припаивают. Затем выполняют последние соединения между контактами в цепях первичных обмоток.

Для экранирования проводов, соединяющих трансформаторы, изготовляют желоба из листового железа, которыми закрывают провода (см. рис. 14).

Постановка ламп на место требует большой осторожности, так как крепление ламп производится одновременно с включением их в цепь, а выводы от вторичной обмотки трансформатора накала можно гнуть с большой осторожностью, чтобы не сломать изоляцию. На выводы вторичной обмотки трансформатора накала напаивают трубочки, сделанные из листовой латуни.

Длина трубочек 20 *мм*, внутренний диаметр 2,4 *мм*. На расстоянии 3 *мм* от основания в трубочках делается разрез. Ножки кенотронов нужно вставить в предназначенные для них трубочки и после этого трансформатор вместе с лампами осторожно ставят на место.

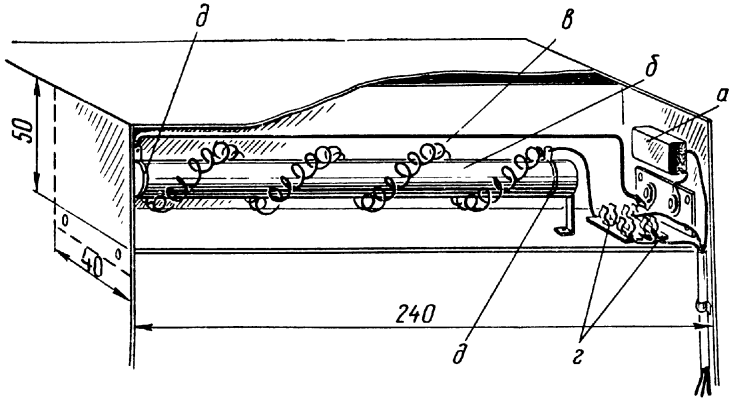

Рис. 12. Коробка с ограничивающим сопротивлением:
а — корпус выключателя; *б* — фарфоровая трубка; *в* — спираль; *г* — колодочки плавких предохранителей; *д* — медные контакты.

Одна лампа — правая, если смотреть на выпрямитель спереди,— присоединяется анодом к проходному болту. Гайку изготавливают из металлического шара. В нижней части гайки-шара

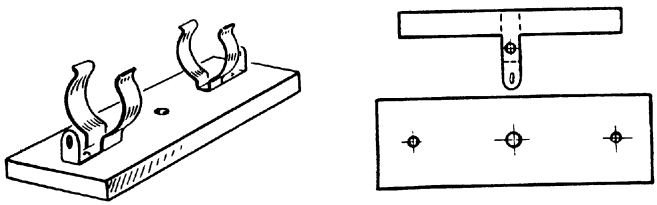

Рис. 13. Конструкция колодочки плавкого предохранителя.

просверливают углубление для анодного колпачка лампы 2Ц2С. Сбоку просверливают и нарезают отверстие для стопорного винта, которым колпачок лампы прочно зажимается. Ничем другим лампа не будет удерживаться, поэтому необходимо, чтобы стопорный винт держал ее за анодный колпачок достаточно прочно (см. рис. 15). Катод присоединяют к ножке 2 (рис. 16).

Второй кенотрон крепится к гайке второго проходного изолятора, но несколько иначе. В нижней части гайки сверлится отверстие диаметром 3 *мм*, в которое впаивается кусок медной проволоки. Проволоку изгибают, как показано на рисунке 15, на конце делают кольцо, в которое с усилием вставляют одну из трубочек, припаянных к выводам трансформатора накала. В эту

трубочку вставляют вторую ножку кенотрона, к которой присоединен и катод, и подогреватель. На этой ножке будет удерживаться кенотрон. В другую трубочку встанет ножка кенотрона, обозначенная на рисунке 16 цифрой 7. Эту лампу приходится наклонять, чтобы расстояние между анодом лампы и проводом, идущим от катода к выводу, было не меньше 60 *мм*. Отклонение от вертикали не превышает 30°.

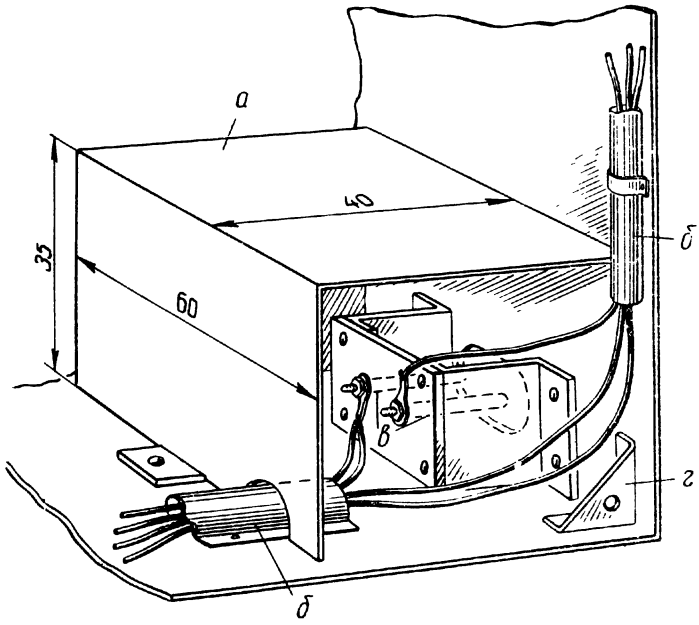

Рис. 14. Ввод переменного тока в корпус выпрямителя:
а — металлическая коробка — экран; *б* — экраны для соединительных проводов; *в* — штыри для включения выпрямителя в сеть; *г* — уголок для крепления крышки к корпусу.

На анодный колпачок кенотрона одевают металлический шар диаметром 15—20 *мм* и закрепляют стопорным винтом. Металлический шар должен иметь два отверстия. В одно впаивают вывод от обмотки главного трансформатора, а во второе голый медный провод диаметром 3 *мм,* соединяющий анод кенотрона с катодом другого кенотрона. Для этого на втором конце провода делают спираль в два витка, которую надевают на трубочку.

Два конденсатора, емкостью по 1000 *пф* (рабочее напряжение 20 *кв*) укрепляют с помощью шайб. Перед присоединением каждого конденсатора необходимо измерить их емкости и сопротивления утечек.

Затем оба трансформатора ставят на место, не закрепляя. Устанавливают кенотроны. Перед установкой их тщательно промывают спиртом, особенно стеклянные баллоны, и голыми ру-

ками к ним в дальнейшем не прикасаются. Закрепляют трансформаторы.

На стенке корпуса укрепляют гнездо для заземления и присоединяют к нему детали, требующие заземления (экраны на первичных обмотках, начало вторичной обмотки главного трансформатора и др.).

ИСПЫТАНИЕ ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Сняв обе крышки, ставят предохранитель только в цепь трансформатора накала (плавкой вставкой может служить медная проволока ϕ 0,05 *мм* для сети 220 *в* и ϕ 0,10 *мм* для сети 127 *в*) и включают выпрямитель в сеть. Катоды обеих ламп должны иметь нормальный накал. С помощью авометра измеряют напряжение, приложенное к ножкам кенотронов (оно должно равняться 2,5 *в*) и трансформатор оставляют включенным на 1 час. Через час трансформатор надо выключить и проверить на ощупь температуру обмоток и стали. Если обнаружится местное повышение температуры обмотки, сопровож-

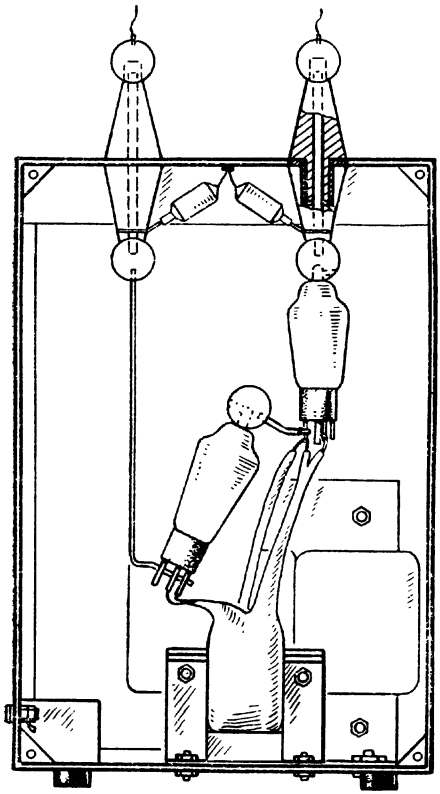

Рис. 15. Монтажная схема высоковольтного выпрямителя.

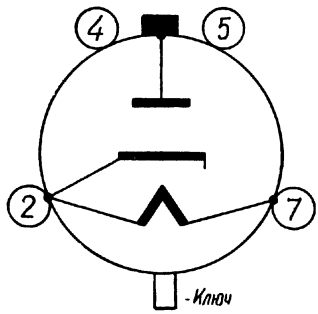

Рис. 16. Схема цоколевки кенотрона 2Ц2С.

дающееся плавлением парафина, значит имеются короткозамкнутые витки. В этом случае надо переделать трансформатор.

При испытании высоковольтного трансформатора необходимо помнить, что допущенные ошибки могут сделать его смертельно опасным, поэтому надо еще раз проверить цепь первичной обмотки и убедиться, что ограничивающее сопротивление включено

последовательно с первичной обмоткой главного трансформатора. Затем надо поставить плавкий предохранитель (для сети 220 *в* плавкая вставка делается из медной проволоки ϕ0,06 *мм*). Для испытания цепи первичной обмотки главного трансформатора замыкают входные контакты с помощью авометра и измеряют сопротивление. Авометр, включенный в штепсельные гнезда дополнительного ограничивающего сопротивления, должен показать 206,5 *ом* (сопротивление первичной обмотки около 1,5 *ом*) при включенном выключателе. Это положение выключателя отмечают четкой надписью «вкл». Затем последовательно с ограничивающим сопротивлением полностью включают реостат 1000 *ом*. Разомкнув цепь первичной обмотки главного трансформатора, высоковольтный выпрямитель включают в сеть переменного тока.

Через некоторое время, когда будет виден накал катодов, выходные клеммы выпрямителя замыкают накоротко, присоединив к ним школьный демонстрационный гальванометр. Гальванометр надо поставить около выпрямителя на подъемный столик, плита которого покрыта слоем воска. Включив на 1—2 *сек* главный трансформатор выпрямителя, убеждаются, что ток короткого замыкания не превышает нормы (0,2 *ма*). При полностью выведенном реостате ток достигает ≈ 4 *ма* (для $C = 1000$ *пф*).

Испытание на напряжение следует проводить в темноте. Для испытания следует приготовить разрядник на изолирующей ручке. К электродам выпрямителя присоединяют раздвижной конденсатор, в стойки которого вставляют прилагаемые к нему шары. Раздвигают шары на расстояние более 100 *мм*. Ползунок реостата ставят в такое положение, чтобы ограничивающее сопротивление было максимальным. Убедившись, что цепь главного трансформатора отключена, включают высоковольтный выпрямитель в сеть. Когда катоды прогреются, кладут руку на выключатель главного трансформатора, просят помощника выключить свет и после того, как глаза привыкнут к темноте, на 1—2 *сек* включают главный трансформатор.

Объектом наблюдения являются кенотроны. Если яркость свечения возрастает, или сразу же вспыхивает дуговой разряд, кенотрон не выдержит полного напряжения, его надо заменить.

Если в обоих кенотронах не заметно тенденций к переходу в нарастающий режим, то выпрямитель можно включить в сеть на 10—15 *сек*. Продолжая наблюдать за кенотронами, внутри корпуса отмечают места интенсивной короны и искровые разряды. Выключив выпрямитель, анализируют причины и исправляют ошибку.

Причинами образования интенсивной короны или искр могут быть: неудачное расположение соединительных проводов, загрязнение поверхности проводов, царапины и пр.

После устранения неисправностей вновь включают выпрями-

тель в сеть. Когда катоды прогреются, включают главный трансформатор и в течение 1 часа ведут наблюдение за кенотронами, за формой и интенсивностью коронного разряда и т. д. Сближая шары, отмечают, при каком расстоянии между ними возникает искра. Зная это расстояние, можно определить полученное напряжение (оно должно быть около 30 *кв*). Пользуясь разрядником, надо убедиться, что оба электрода заряжены. Длины искр между каждым электродом и корпусом должны быть одинаковыми у обоих электродов.

Если в течение часа высоковольтный выпрямитель работает нормально, можно постепенно уменьшать сопротивление цепи главного трансформатора (проделывать это испытание надо в темноте). Благодаря этому напряжение начнет расти. Продолжая наблюдение, особое внимание уделяют работе кенотронов. В то время, как все детали высоковольтного выпрямителя имеют запас прочности 100, 200 и 300%, запас прочности у кенотронов всего 20—25%.

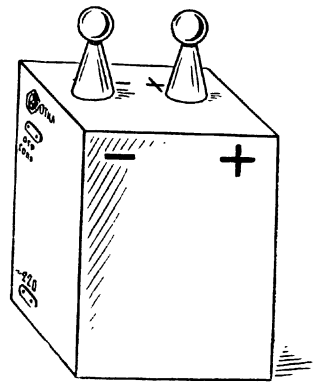

Рис. 17. Надписи на корпусе выпрямителя.

Если будет замечено прогрессирующее усиление свечения газа в кенотроне или другие явления, нужно снизить напряжение и в течение часа дать поработать кенотрону при пониженном напряжении. В результате работы в облегченных условиях (тренировки) свойства кенотрона часто улучшаются и повторное осторожное повышение напряжение часто удается.

Другое частое явление при повышении напряжения — искровой разряд по наружной поверхности баллона кенотрона. Если такой разряд возник, надо сразу же выключить главный трансформатор, чтобы искра не разрушила стекло. Такой баллон надо покрыть тонким слоем высококачественного шеллачного лака.

Когда реостат постепенно будет выведен, выпрямитель должен в течение часа работать в нормальном для него режиме. В это время напряжение должно быть 40 *кв*.

После испытания вторично красят корпус (снаружи) и делают четкие надписи у всех гнезд, контактов, электродов, выключателей (рис. 17).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ

Для изготовленного выпрямителя необходимо определить его параметры. Для этого необходимо построить семейство внешних характеристик.

Внешней характеристикой выпрямителя называется кривая, показывающая зависимость напряжения на зажимах выпрями-

теля от величины тока, протекающего через нагрузку. Для описанного высоковольтного выпрямителя характеристику можно считать прямолинейной. В этом случае для ее построения достаточно определить напряжение ненагруженного выпрямителя и ток короткого замыкания. Опишем такие измерения.

В школьных условиях измерение столь высоких напряжений возможно только по длине искры. Присоедините к выпрямителю разрядник с остриями, собранный на штативе от раздвижного конденсатора (рис. 18). Если его нет, укрепите острия на изо-

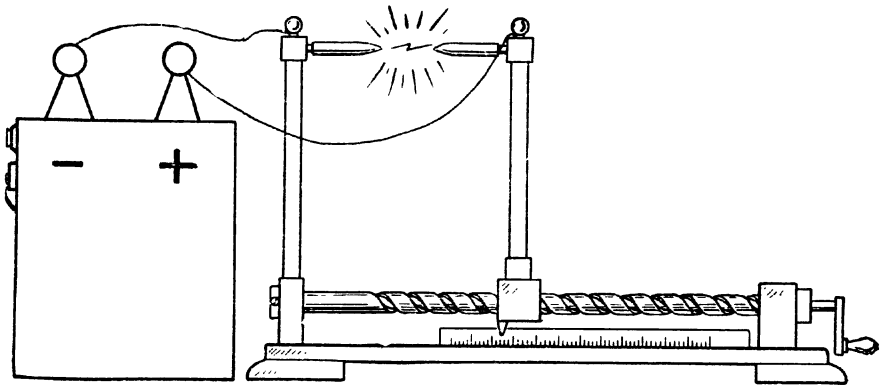

Рис. 18. Измерение напряжения по длине искры.

лирующих палочках в штативах. Включите выпрямитель и сближайте острия. Остановитесь, как только возникнет первая искра (последующие искры дают искаженный результат). Выключите выпрямитель и измерьте расстояние между остриями. Пользуясь графиком, вы найдете величину напряжения между электродами выпрямителя в отсутствии нагрузки (рис. 19). Если искра была получена, например, при расстоянии между остриями 37 *мм*, то напряжение равно 38 *кв*.

Измерение тока короткого замыкания описано ранее (см. стр. 30). Если один из проводов отсоединится от электрода выпрямителя, то короткого замыкания не будет и напряжение поднимется. В этом случае внутри миллиамперметра может вспыхнуть опасный для прибора искровой разряд, если корпус прибора соприкасается с заземленным предметом. Во избежание этого, миллиамперметр помещают на восковую плиту.

После этих двух измерений можно приступить к построению первой внешней характеристики. Для ее изображения примем масштаб: 1 *ма* = 20 *мм*, 1 *кв* = 5 *мм*. Величину тока будем откладывать по оси абсцисс, напряжения — по оси ординат. Каждая точка в координатной плоскости будет соответствовать определенному режиму работы: определенному току и напряжению. При проведении первого опыта (с искрой) выпрямитель не был

нагружен, следовательно, ток был равен нулю, а напряжение равно 38 *кв*. Эти две цифры определяют точку *A*, лежащую на оси ординат. Пусть, например, этот же выпрямитель при коротком замыкании дал ток 3 *ма*. Напряжение между электродами при коротком замыкании равно нулю. Эти две цифры определяют другой режим работы выпрямителя. На чертеже этот режим изобразим точкой *B* (рис. 20). Как уже сказано, внешняя

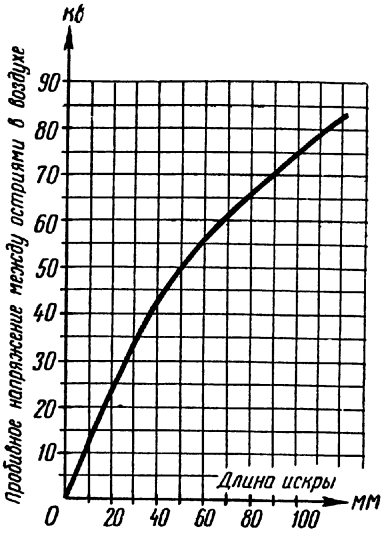

Рис. 19. Длина искры в воздухе между остриями при различных напряжениях.

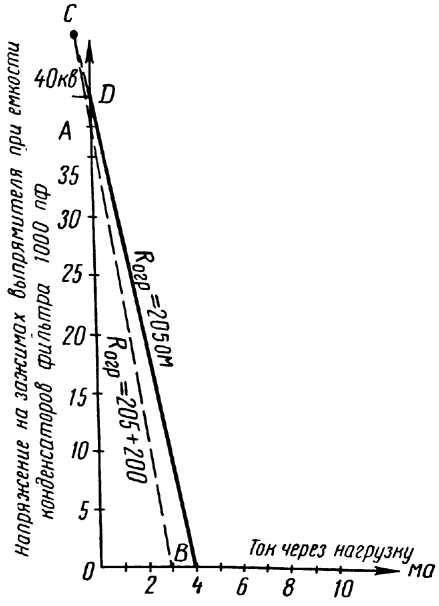

Рис. 20. Характеристики для различных ограничивающих сопротивлений пересекаются в одной точке (точка *C*). Не будет большой ошибкой считать ее совпадающей с точкой *Д*.

характеристика выпрямителя является практически прямолинейной. Поэтому осталось соединить эти точки прямой линией и характеристика готова. Напишем вдоль нее величину ограничивающего сопротивления, при котором снималась характеристика. Ограничивающее сопротивление состоит из реостата и сопротивления внутри выпрямителя (205 *ом*). Если был включен реостат с сопротивлением 200 *ом*, то нужно написать: $R_{огр.} = 205 + 200$ *ом*. Проделайте опыты и постройте характеристики для различных реостатов. Чертеж надо выполнить тушью на плотной бумаге и хранить вместе с высоковольтным выпрямителем. Особое значение имеет характеристика, полученная при таком положении движка реостата, когда вносимое им в цепь сопротивление равно нулю. Это — предельный режим. Все возможные режимы изображаются точками, лежащими внутри треугольника,

образованного характеристикой $R_{огр.} = 205$ *ом*, осью абсцисс и осью ординат. Для получения каждого режима в цепь первичной обмотки нужно включать определенный реостат.

Допустим, что нам необходим ток 1 *ма* при напряжении 11 *кв*. Для этого, очевидно, нужно, чтобы внешняя характеристика выпрямителя проходила через эту точку. Нахождению интересующей нас внешней характеристики благоприятствует то, что все внешние характеристики для различных значений сопротивления в цепи первичной обмотки главного трансформатора проходят примерно через одну точку (точку *C* на рис. 20). Это позволяет построить характеристику, которая включала бы в себя интересующий нас режим работы. Проведя прямую через точку *C*, и точку, характеризующую нужный режим, мы находим ток короткого замыкания. Знание тока короткого замыкания позволяет выбрать необходимое в цепи первичной обмотки сопротивление. Соответствующие цифры полезно выставить вдоль оси токов, что избавит от необходимости обращаться каждый раз к вычислениям.

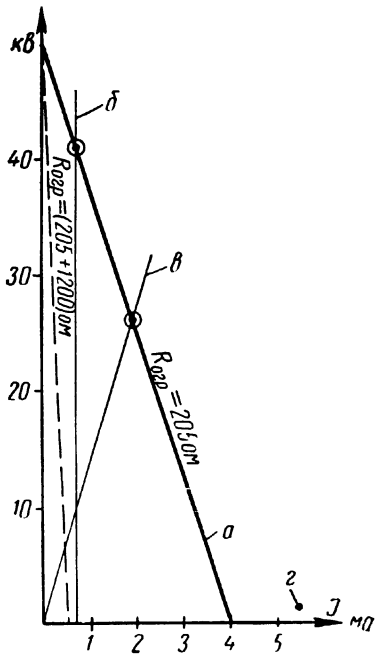

Рис. 21.

а — внешняя характеристика высоковольтного выпрямителя; *б* — характеристика трубки Рентгена школьного типа; *в* — характеристика трубки со звездой; *г* — характеристика гейслеровской трубки.

Если сопротивление должно быть 500 *ом*, то необходимо добавить реостат, имеющий сопротивление не менее 290 *ом* (205 *ом* — внутреннее сопротивление выпрямителя) и рассчитанный на ток до 0,5 *а* (ток короткого замыкания первичной обмотки главного трансформатора для данного случая).

Если мы присоединим прибор к выходным клеммам высоковольтного выпрямителя, то установится режим, соответствующий точке, лежащей на характеристике выпрямителя, и на характеристике прибора, то есть установится режим, соответствующий точке пересечения их характеристик.

Если нам неизвестна характеристика прибора (вид функций), то мы ничего не можем сказать о том, какой режим установится после включения прибора.

Для многих случаев можем указать следующий выход из затруднения. Среди характеристик приборов довольно часто встречаются такие, которые мало отличаются от линейных. В качестве примера можно указать на активное сопротивление, для которого зависимость напряжения на его кон-

цах от величины проходящего через него тока дается законом Ома для участка цепи:

$$U = Ri.$$

Эта характеристика будет иметь вид прямой, проходящей через начало координат. Если R известно, то эту прямую можно вычертить и узнать, какой установится режим.

Характеристики катодных трубок довольно близки к характеристике активного сопротивления (рис. 21).

Для рентгеновских трубок с накаливаемым катодом мы имеем характеристику, изображаемую практически тоже прямой, так как рентгеновская трубка работает обычно в режиме насыщения и ток через трубку не зависит от приложенного напряжения. Поэтому характеристика рентгеновской трубки изображается прямой, параллельной оси ординат, идущей от нее на расстоянии, соответствующем величине тока через трубку:

$$i = i_{нас.}$$

Знание величины тока позволяет нам и в этом случае точно определить режим работы высоковольтного выпрямителя (см. рис. 21).

В случае, если характеристика прибора нам мало известна, можно включить последовательно с прибором большое омическое сопротивление. При таком включении общая характеристика прибора и сопротивления будет близка к прямой, чем мы и можем воспользоваться для определения режима работы.

Наконец, необходимо заметить, что иногда нужно принимать во внимание и наличие пульсаций, величина которых зависит от тока через нагрузку. Для общей ориентировки отметим, что при токе порядка десятых долей *ма* пульсации почти отсутствуют, а для тока короткого замыкания амплитуда первой гармоники составляет 0,67 значения постоянной составляющей.

3. ВЫПРЯМИТЕЛЬ НА 300/1600 *в*.

Основное назначение выпрямителя — питание цепи электронного осциллографа и усилителя. Для этого от него необходимо получать:

1. Постоянный ток до 150 *ма* при регулируемом напряжении от 0 до 300 *в*.
2. Постоянный ток в несколько *мка* при напряжении от 0 до 1600 *в*.
3. Переменный ток не менее 4 *а* при напряжении 6,3 *в*.
4. Переменный ток 0,6 *а* при напряжении 6,3 *в* от обмотки, рассчитанной на рабочее напряжение 2 *кв*.
5. Переменный ток 110 *в*.

Принципиальная схема выпрямителя приведена на рисунке 22.

Все токи, даваемые выпрямителем, подведены к штепсельным гнездам, расположенным на вертикальной стенке панели и

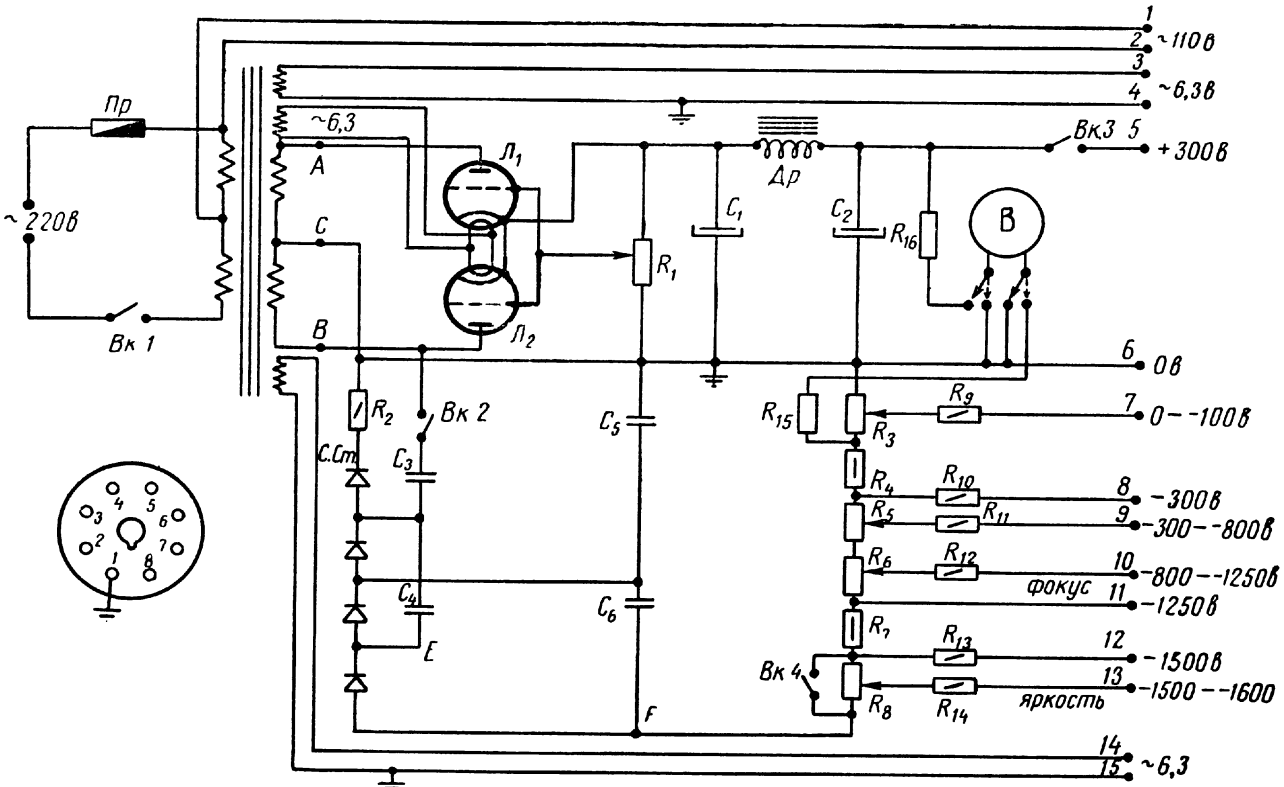

Рис. 22. Принципиальная схема выпрямителя 300/1600 *в*:

Конденсаторы C_1, C_2=40 *мкф*, 450 *в*; C_3=0,5 *мкф*, 1000 *в*; C_4, C_5, C_6=0,5 *мкф*, 1500 *в*.
Постоянные сопротивления R_2=10 *ком*; R_4=200 *ком*; R_7, R_{12}, R_{14}=270 *ком*; R_9, R_{10}=100 *ком*; R_{11}=150 *ком*; R_{15}, R_{16} — подбирают соответственно прибору.
Переменные сопротивления (2 *вт*) R_1, R_3, R_8=100 *ком*; R_5=470 *ком*, R_6=470 *ком*.
С. Ст. — селеновый столбик. *Др* — дроссель. *Пр.* — предохранитель.

к ножкам двух ламповых панелей, которые укреплены сбоку выпрямителя.

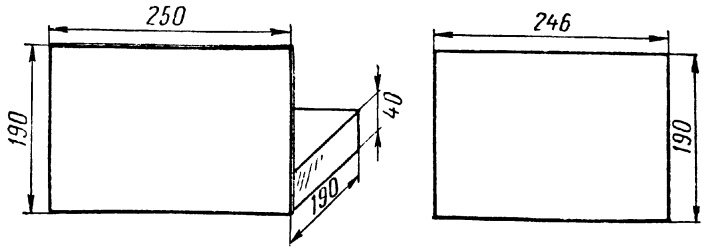

Рис. 23. Форма и размеры панели выпрямителя 300/1600 *в*.

Для правильного выполнения монтажа штепсельные гнезда выпрямителя на рисунках 22 и 31 пронумерованы одними и теми же цифрами.

Ламповые панели соединяют параллельно.

К ножкам ламповых панелей 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 и 8 присоединены соответственно провода от 4, 5, 10, 15, 12, 13, 8 и 3 гнезда. К ножке ламповой панели, обозначенной цифрой 5, присоединяют второй провод от 14 гнезда.

Размеры панели и корпуса приведены на рисунках 23 и 24.

Размещение деталей на панели показано на рисунках 25 и 26.

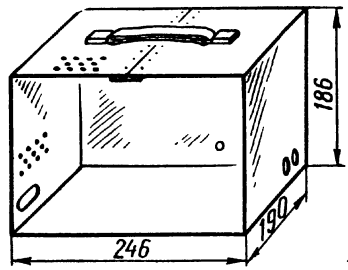

Рис. 24. Форма и размеры корпуса выпрямителя 300/1600 *в*.

Для изготовления выпрямителя необходимы следующие детали:

Трансформатор (100 *вт*)	1 шт.
Дроссель	1 шт.
Селеновый столбик из 50 трехмиллиметровых шайб	4 шт.
Электролитический конденсатор емкостью 40 *мкф*, (рабочее напряжение 450 *в*)	2 шт.
Бумажный конденсатор емкостью 0,5 *мкф* (рабочее напряжение 1500 *в*)	4 шт.
Бумажный конденсатор емкостью 0,5 *мкф* (рабочее напряжение 600 *в*)	1 шт.
Триод 6С4С (можно заменить триодом 6Н5С)	2 шт.
Микроамперметр	1 шт.
Переменное сопротивление (двухтактное)	6 шт.
Сопротивление типа ВС 0,5 *вт*	6 шт.
Ламповая панель (две могут быть заменены фабричными штепсельными разъемами).	4 шт.

Гнезда штепсельные	15 шт.
Штепсельные штыри	2 шт.
Переключатель двухфазный	1 шт.
Выключатели миниатюрные	4 шт.
Колодка для предохранителя	1 шт.
Шнур или кабель в резиновой изоляции с вилкой и колодкой	1 шт.

Провод монтажный разный, гетинакс, заклепки и проч.

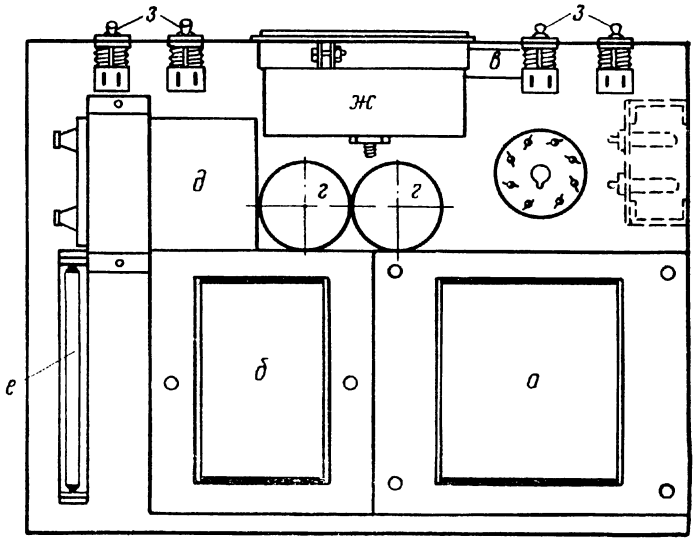

Рис. 25. Панель выпрямителя (вид сверху):
а — трансформатор; *б* — дроссель; *в* — потенциометр; *г* — электролитические конденсаторы; *д* — конденсаторы КБГН; *е* — селеновые столбики; *з* — выключатели; *ж* — микроамперметр.

Для изготовления выпрямителя лучше приобрести трансформатор от телевизора. Такой трансформатор имеет все необходимые обмотки, из которых только одну надо дополнить несколькими витками, чтобы получить напряжение не 5, а 6,3 *в*.

Сборка выпрямителя начинается с изготовления следующих узлов:

1. Входные штыри для включения в сеть.
2. Группа штепсельных гнезд на панели.
3. Группа штепсельных разъемов на правой боковой стенке.
4. Группа переменных сопротивлений в потенциометре двухкиловольтного выпрямителя.

Переменные сопротивления в потенциометре находятся под высоким напряжением, поэтому их надо укрепить на отдельной гетинаксовой пластине размером 4 *мм* × 35 *мм* × 120 *мм*.

Укрепление деталей на панели идет в следующем порядке:

1. Пластины со штепсельными гнездами на лицевой стороне.
2. Пластины со штепсельными разъемами на боковой стороне.
3. Пластина с переменными сопротивлениями.

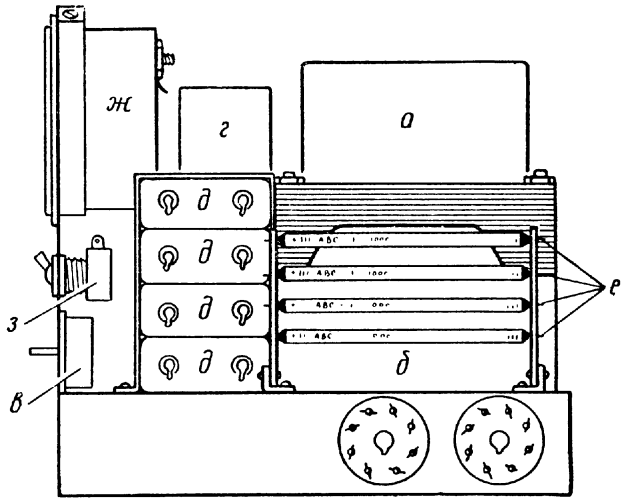

Рис. 26. Вид выпрямителя сбоку:
а — трансформатор; *б* — дроссель; *в* — потенциометр; *г* — электролитические конденсаторы; *д* — конденсаторы КБГН; *е* — селеновые столбики; *з* — выключатель, *ж* — микроамперметр.

4. Пластина со штепсельными штырями входного штепсельного разъема.
5. Трансформатор.
6. Дроссель.
7. Конденсаторы электролитические.
8. Конденсаторы КБГ-МН.
9. Селеновые столбики.
10. Вольтметр.

Для трансформаторов в панели прорезают отверстие, в которое опускается катушка.

Конденсаторы изолируют друг от друга картонными прокладками, укладывают стопой и закрепляют с помощью скобы.

Селеновые столбики укрепляются на панели с помощью уголков и двух планок из гетинакса. Уголки приклепываются к панели, а в гетинаксовых стойках делается резьба и они привинчиваются к уголкам винтами.

Следующий этап работы — соединение деталей монтажным

проводом. Сечение провода должно согласовываться с сечением обмотки трансформатора и величиной тока.

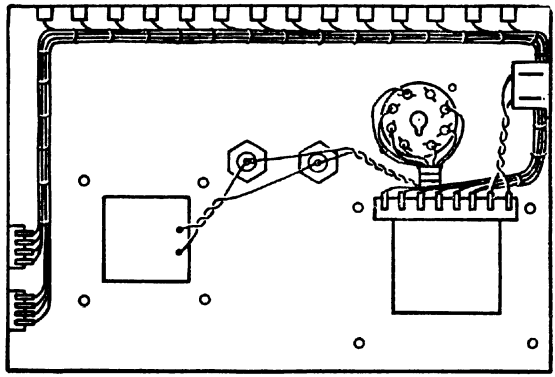

Рис. 27. Схематическое изображение монтажа выпрямителя 300/1600 *в*. Вид с нижней стороны.

Соединительные провода следует уложить параллельно, в подвале панели, вдоль боковых и передних стенок и связать в жгут. Концы проводов выводить к отдельным деталям.

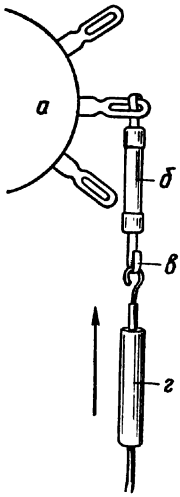

Рис. 28. Крепление постоянных сопротивлений:
а — переменное сопротивление; *б* — постоянное сопротивление; *в* — место спая; *г* — трубочка из изолятора, которой закрывают место спая.

Виниловую изоляцию окрашивают в различные цвета, для каждой группы цепей выбирают провода одного цвета, это облегчает монтаж и его проверку.

Чтобы монтаж был выполнен без пропусков и ошибок, нужно сделать чертеж принципиальной схемы выпрямителя и каждое выполненное соединение отмечать цветным карандашом.

Монтаж начинают с подвала. Для этого выпрямитель перевертывают. Подготовленные провода изгибают так, чтобы они от одного контакта до другого шли вдоль ребра панели. Изгибы должны образовывать прямые углы. Когда такая заготовка проводов будет закончена, провода снимают и весь жгут обвязывают нитками (рис. 27).

Постоянные сопротивления укрепляют непосредственно на лепестках переменных сопротивлений, как показано на рисунке 28. Перед паянием места соединений надо слегка механически закрепить (рис. 29). У фишек, находящихся с левой стороны панели сначала закрепляется один, наиболее трудно доступный провод, и припаивается. Затем закрепляется и запаивается наиболее трудно доступный про-

вод из оставшихся, и так до последнего. Затем припаиваются все остальные контакты.

Последним укрепляют микроамперметр. Самый простой способ крепления показан на рисунке 30.

Перед испытанием работы выпрямителя:

1. Проверьте схему.
2. Проверьте исправность предохранителя.

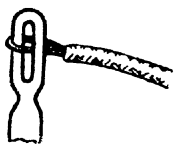

Рис. 29. Закрепление провода перед паянием.

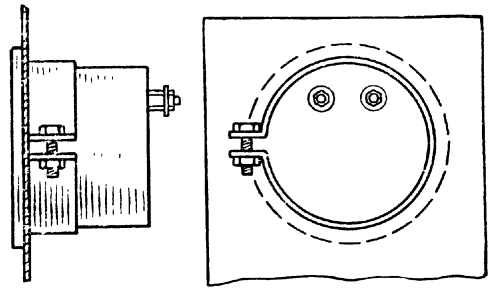

Рис. 30. Крепление вольтметра на панели металлическим кольцом.

3. Сделайте заземление корпуса.
4. Вставьте лампы.
5. Поставьте все выключатели в положение «отключено».

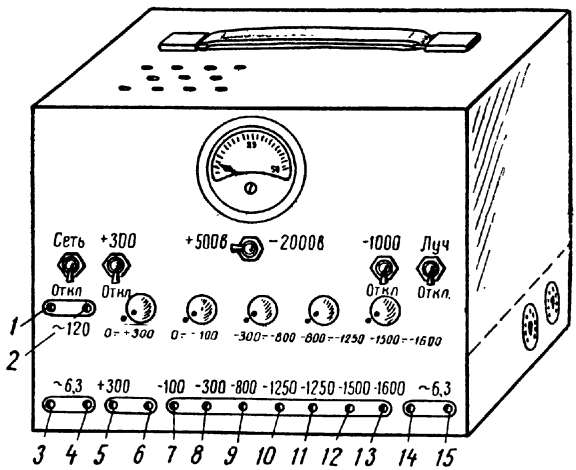

Рис. 31. Внешний вид выпрямителя 300/1600 *в*.

6. Переключатель вольтметра поставьте в положение «300 *в*». Если выпрямитель не имеет вольтметра, то включите школьный авометр в гнезда «Земля» и «+300 *в*» (5 и 6 гнезда на рис. 31).
7. Включите выпрямитель в сеть.
8. Включите первичную обмотку трансформатора.

Если выпрямитель подготовлен правильно, катоды кенотронов накалятся и одновременно вольтметр (или авометр) покажет величину напряжения.

9. Выключите первичную обмотку. Включите авометр в гнезда 6—7, как миллиамперметр на 5 *ма*. Переменное сопротивление R_2 будет шунтом, снижающим чувствительность авометра.

10. Включите высокое напряжение (выключатель *3* на рис. 22). Стрелка авометра медленно пойдет вправо и покажет наличие высокого напряжения. Закончив испытание, выпрямитель помещают в корпус. На поверхности корпуса у гнезд и ручек управления делают надписи (рис. 31).

4. БЛОК ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ТРУБКИ

Блок электронно-лучевой трубки предназначается для изучения на уроках физики различных периодических процессов: переменного тока промышленной частоты, звуковой частоты и других процессов, а также для изучения практического использования электронно-лучевой трубки в других случаях.

При изучении переменного тока весьма важным является наблюдение разности фаз тока и напряжения, так как эта величина определяет полезную мощность цепи переменного тока. Чтобы наблюдать величину разности фаз и влияние на величину $\Delta\varphi$ параметров цепи, надо иметь возможность видеть на экране осциллографа и кривую тока, и кривую напряжения одновременно.

В соответствии с этими задачами блок электронно-лучевой трубки содержит генератор напряжения, позволяющий получать временную развертку. Для изучения принципа работы электронно-лучевой трубки важно иметь развертку настолько медленную, чтобы глаз мог следить за движением луча. Для изучения процессов в цепях переменного тока частоты развертки должны быть 25 или 50 *гц*. Для изучения звуковых колебаний необходимы звуковые частоты от 200 до 1000 *гц*.

На этих же частотах может изучаться работа радиоприемника и передатчика. Таким образом, у генератора развертки желательно иметь диапазоны: 1÷4 *гц*; 12,5÷50 *гц*; 250÷1000 *гц*.

Для одновременного наблюдения двух процессов на экране электронно-лучевой трубки блок снабжается электронно-лучевым переключателем.

Наконец, блок имеет механизмы смещения луча вдоль осей *X* и *У*.

Электронно-лучевая трубка состоит из стеклянного баллона, внутри которого создан высокий вакуум (рис. 32).

Источником электронов в этой трубке является электронный прожектор, который состоит из накаливаемого током катода,

эмитирующего электроны, и анода, имеющего вид диска с небольшим отверстием (1—3 *мм*).

Между катодом и анодом создается разность потенциалов от нескольких сот до нескольких тысяч вольт, так что в пространстве между катодом и анодом существует сильное электрическое поле, разгоняющее вылетающие из катода электроны до очень большой скорости. Катод находится внутри электрода, имеющего

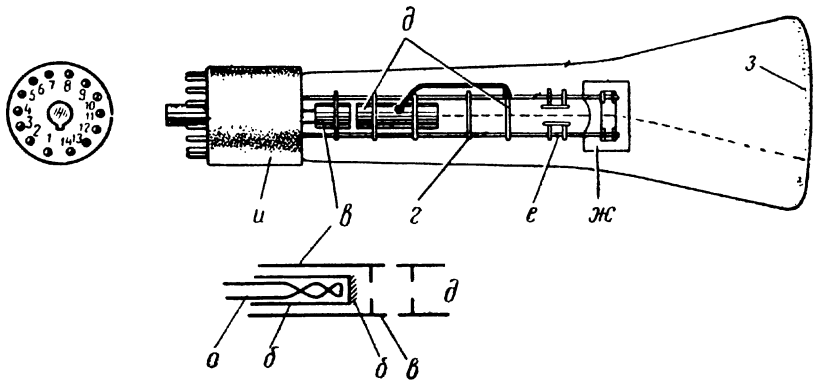

Рис. 32. Электронно-лучевая трубка:
а — подогреватель; *б* — катод; *в* — модулирующий электрод; *г* — фокусирующий электрод; *д* — анод; *е* — пластины конденсатора для отклонения луча по вертикали; *ж* — пластины конденсатора для отклонения луча по горизонтали; *з* — экран; *и* — цоколь.

форму цилиндра, на который подается отрицательный (относительно катода) потенциал. Меняя потенциал этого электрода можно регулировать яркость пятна.

Действие электрического поля цилиндра уменьшает рассеивание эмитированных катодом электронов, поэтому последние достигают анода в виде узкого пучка. Этот электрод обычно называют фокусирующим.

В современных трубках имеются и другие вспомогательные устройства, на описании которых мы не останавливаемся.

Экраном в трубке является дно стеклянного баллона, с внутренней стороны покрытое люминофором.

Пролетая отверстие в аноде, электроны движутся далее по инерции, и, достигая экрана, вызывают его свечение. При хорошей фокусировке свечение имеет вид маленького яркого пятна.

На пути от анода к экрану электронный луч проходит между двумя парами пластин небольших конденсаторов. Если подать некоторое напряжение на первую пару пластин, то поле конденсатора будет отклонять электронный луч в сторону положительно заряженной пластины по горизонтали. К этим пластинам подводится так называемое пилообразное напряжение от генератора развертки, возрастающее (или убывающее) линейно, то есть пропорционально времени (рис. 33).

Поле второго конденсатора тоже может отклонять электронный луч, но уже в вертикальном направлении.

Ко второй паре пластин подводят исследуемое напряжение, например напряжение сети переменного тока.

Первая пара пластин электронно-лучевой трубки 8ЛО29 при разности потенциалов между пластинами 100 *в* дает смещение

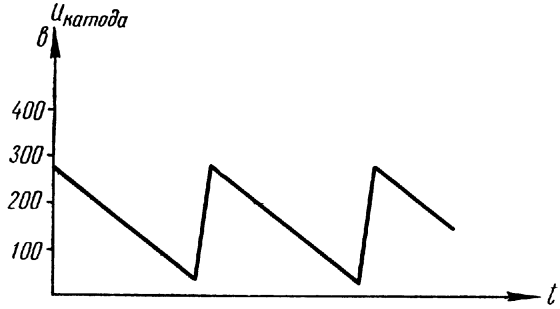

Рис. 33. График напряжения на аноде пентода в схеме генератора напряжения развертки.

светящейся точки на экране на 23 *мм*. Вторая пара пластин при такой же разности потенциалов дает смещение светящейся точки на 16 *мм*. Эти цифры характеризуют чувствительность трубки.

Цоколь электронно-лучевой трубки 8ЛО29 имеет четырнадцатиштырьковую панель; двух ножек — 6 и 13 — нет. Нумеруются ножки одна за другой по часовой стрелке, начиная от гребня ключа. Отсутствующим ножкам тоже присваивается номер.

Схема цоколевки и рекомендуемый режим работы.

Номер ножки	Электрод	Потенциал
1	подогрев	перем. 6,3 *в*
2	катод	—1500 *в*
3	модулятор	от — 1500 до — 1560 *в*
4	не подключена	—
5	первый анод	от — 980 до — 1220 *в*
6	не подключена	
7	отклоняющая пластина первого конденсатора	
8	отклоняющая пластина первого конденсатора	
9	второй анод	0 *в*
10	отклоняющая пластина второго конденсатора	
11	отклоняющая пластина второго конденсатора	

12	не подключена	
13	не подключена	
14	подогрев	перем. 6,3 *в*.

Есть много различных схем устройства генераторов пилообразного напряжения, описания их можно найти в научно-популярной литературе, в журналах «Радио» и «Физика в школе». В результате опытного исследования приходится заключить, что одноламповые схемы не оправдывают себя, лучше строить двухламповые или еще более сложные схемы. На основании этого заключения мы опишем работу двухламповой схемы (рис. 34), в которой применяются лампы тиратрон ТГ1 и пентод 6Ж7.

Тиратрон ТГ1—0,1/1,3 — газополная лампа. На чертеже наличие газа внутри лампы показывается штриховкой.

При работе с тиратроном важно помнить, что напряжение на анод можно подавать только при разогретом катоде. Если включить в цепь тиратрон с холодным катодом, то положительные ионы, устремляясь к катоду, своими ударами разрушат поверхностный слой катода. Разогрев катода продолжается 30 *сек*.

Электроны, испускаемые накаленным катодом, ионизируют молекулы газа в колбе, в результате создаются вторичные электроны и положительные ионы. Это ионизированное пространство, подобно хорошему проводнику, и обусловливает очень малое падение напряжения. В результате характер разряда в баллоне меняется. В баллоне возникает низковольтная дуга. Возникновение электрической дуги называется зажиганием тиратрона. Отрицательно заряженная сетка в тиратроне может лишь задерживать возникновение дугового разряда, но если последний начался, то сетка уже не может управлять током тиратрона.

Зажигание тиратрона происходит при определенной разности потенциалов между катодом и анодом. Чем меньше потенциал сетки, тем большая требуется разность потенциалов между катодом и анодом для того, чтобы в тиратроне возник дуговой разряд.

Пока тиратрон не «зажегся», он тока практически не пропускает.

Параллельно тиратрону включают один из трех конденсаторов C (рис. 34). После зажигания через тиратрон пройдет ток и конденсатор быстро разряжается, прекращая разряд. В этот момент восстанавливается управляющее действие сетки, и тиратрон сможет зажечься вновь только при анодном потенциале, соответствующем потенциалу на сетке тиратрона. Потенциал нашей пластины конденсатора C в момент погасания тиратрона будет примерно на 14 *в* отличаться от потенциала верхней пластины. Таким образом, потенциал анода пентода в этот момент будет высоким ($+250 \div 280$ *в*).

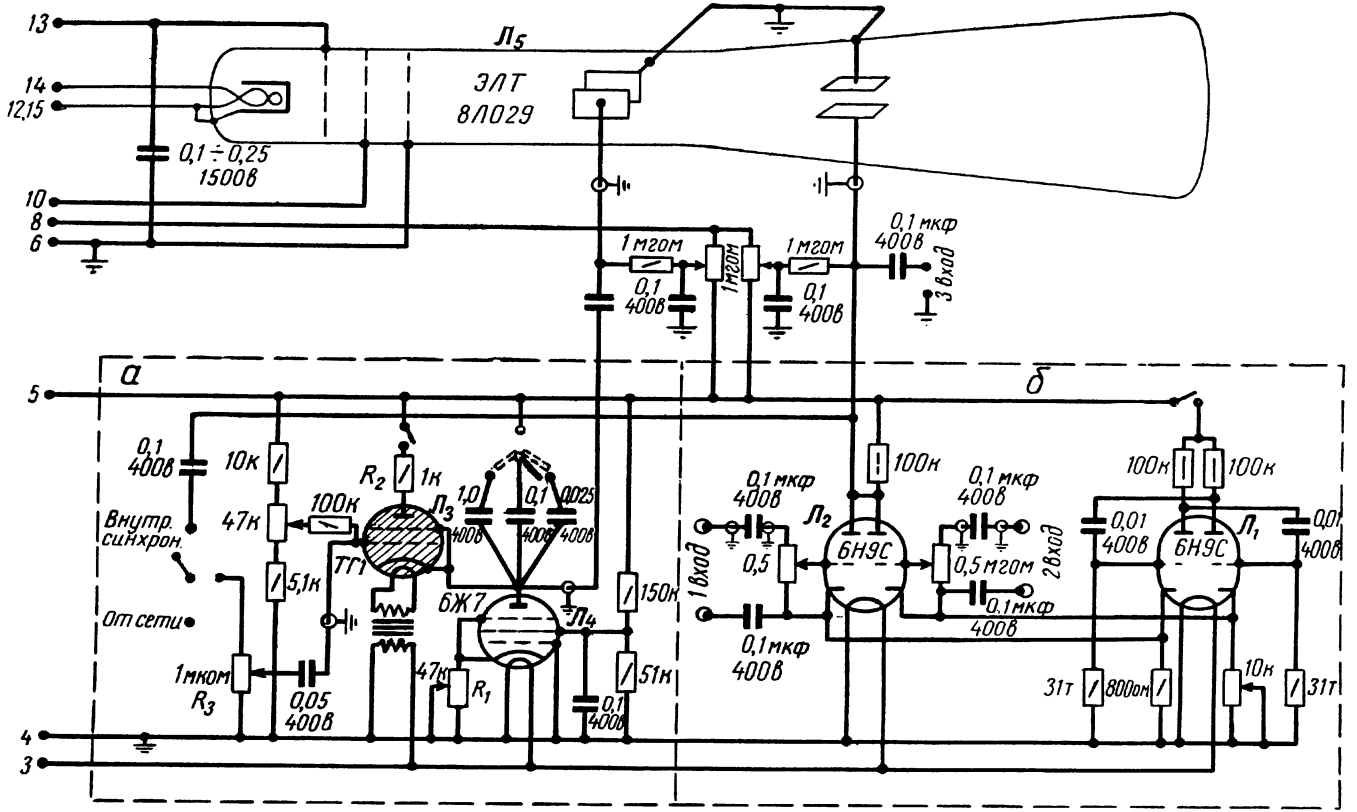

Рис. 34. Принципиальная схема блока электронно-лучевой трубки:

а — схема генератора напряжения развертки; *б* — схема электронного переключателя. Номера проводов на данном рисунке соответствуют номерам проводов на рисунках 22 и 31.

Электроны с нагретого катода пентода будут приходить на нижнюю пластину конденсатора C; отрицательный заряд этой пластины будет расти, а потенциал — падать. Так как величина тока, проходящего через пентод, остается постоянной, то напряжение на конденсаторе C будет расти пропорционально времени. В некоторый момент времени напряжение на конденсаторе C возрастает настолько, что в тиратроне вспыхнет дуговой разряд и в очень короткое время конденсатор C будет разряжен через тиратрон. Тиратрон погаснет, и весь цикл начнется сначала. На рисунке 33 показано изменение потенциала на нижней пластине конденсатора. Оно имеет пилообразную форму.

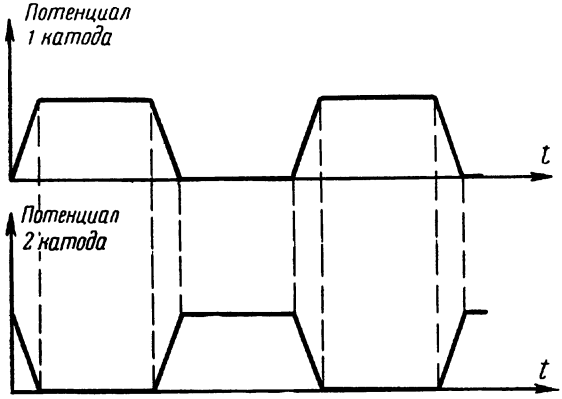

Рис. 35. График изменения потенциалов катодов лампы $Л_1$ электронного переключателя (см. рис. 34).

Пусковые характеристики различных тиратронов различны, однако не выходят за пределы области, указанной на рисунке 36.

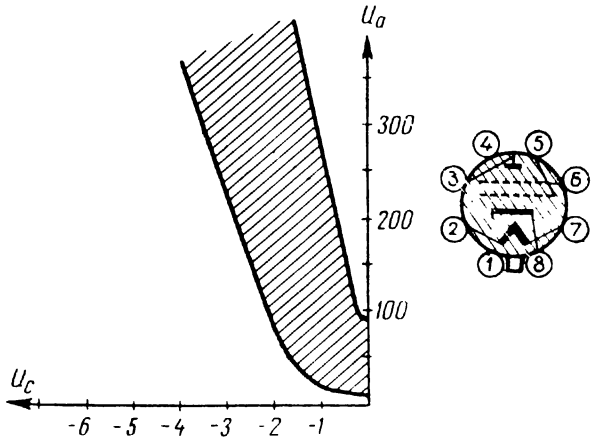

Рис. 36. Область пусковых характеристик тиратрона ТГІ — 0,1/1,3.

Разность потенциалов между катодом тиратрона и подогревателем не должна превышать 50 *в*. При работе генератора потенциал катода тиратрона может принимать значения 250—280 *в*. Поэтому для подогревателя тиратрона в схему вводят отдельный трансформатор с одинаковым числом витков в первичной и вторичной обмотках. Первичную обмотку такого трансформатора включают в общую цепь накала. Мощность трансформатора 6 *вт* при к. п. д. 60%. Сечение стального сердечника 2,5 *см*^{2}. В каждой из обмоток по 100 витков из провода ПЭЛ 0,52.

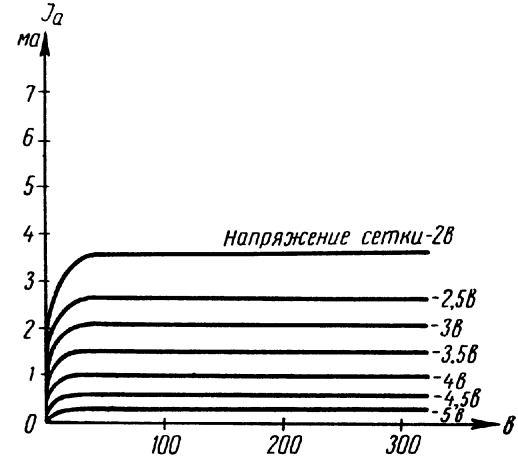

Рис. 37. Анодные характеристики лампы 6Ж7.

Вторая лампа, работающая в генераторе напряжения развертки, пентод 6Ж7. Важное свойство пентода заключается в том, что при постоянном напряжении на экранной и управляющей сетках ток в анодной цепи пентода не зависит от напряжения на аноде (рис. 37), если потенциал управляющей сетки не меняется. Это свойство пентода и используется в генераторе развертки.

Благодаря включению сопротивления R_2 ток, проходящий через тиратрон, не возрастает до опасной для него величины при разряде конденсатора.

Потенциометром R_1 можно изменять величину потенциала катода пентода, а значит и величину тока, заряжающего конденсатор.

С помощью сопротивления R_3 можно изменять потенциал на сетке тиратрона, значит управлять разрядом конденсатора.

В каждом генераторе развертки необходима синхронизация разряда конденсатора с течением исследуемого процесса. В рассматриваемой схеме это достигается путем подачи исследуемого напряжения на сетку тиратрона (внутренняя синхронизация).

Исследуемое напряжение подается при этом на те пластины электронно-лучевой трубки, которые дают смещение луча по вертикали.

Для одновременного наблюдения на экране двух кривых, соответствующих двум разным напряжениям, их подают на пластины конденсатора электронно-лучевой трубки по очереди: первое, второе, первое, второе и т. д.

Рисунок 38 дает представление о движении луча по экрану.

Для автоматического переключения напряжения используется устройство, называемое электронным переключателем или коммутатором. Принципиальная схема такого устройства приведена на рисунке 34, *б* и подробно описана в журнале «Физика в школе», 1956 г., № 5.

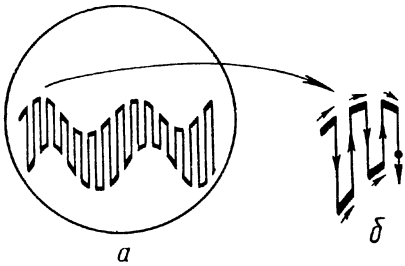

Рис. 38. Движение электронного луча на экране осциллографа при работе электронного переключателя.

Возможно также применение ротационного коммутатора, конструкция которого приводится в книге «Новые школьные приборы по физике и астрономии», изд. Академии педагогических наук, 1959 г.

Для изготовления блока электронно-лучевой трубки необходимы следующие детали:

Панель с кожухом из листового металла	1
Электронно-лучевая трубка 8ЛО29	1
Лампы: 6Н8С — 2 шт.; ТГІ-0,1/1,3; 6Ж7	4
Ламповые панели (фарфоровые)	4
Переменные сопротивления (2 *вт*)	2
Переменные сопротивления (0,5 *вт*)	5
Выключатели (миниатюрные)	2
Конденсаторы КГБ-МН различные	15
Конденсаторы КСО	3
Конденсаторы КБГ-И	1
Сопротивления 0,25 *вт* разные	10
Сопротивление 0,5 *вт*	3
Переключатель на 4 положения	1
Шланг для подключения	1
Фишка входная от штепсельного разъема	2
Зажимы	6

Размеры панели и корпуса приведены на рисунке 39. При изготовлении панели надо сделать два кольца и укрепить их на специальной стойке. Электронно-лучевая трубка удерживается кольцами, которые стягиваются болтами. После изготовления панель и корпус красят. Затем размечают на панели расположение деталей и вырезают необходимые отверстия.

Для подключения электронно-лучевой трубки к цепи требуется специальная панелька и штепсельный разъем. При отсутствии этих деталей изготовляют пластинки из гетинакса или текстолита, на которые укрепляют металлические лепестки, по числу электродов трубки, как показано на рисунке 40. К лепесткам припаивают отрезки одножильных проводов в виниловой разноцветной изоляции. К концам этих проводов припаивают металлические трубочки (внутреннее ϕ 2,4 *мм*), которые надевают

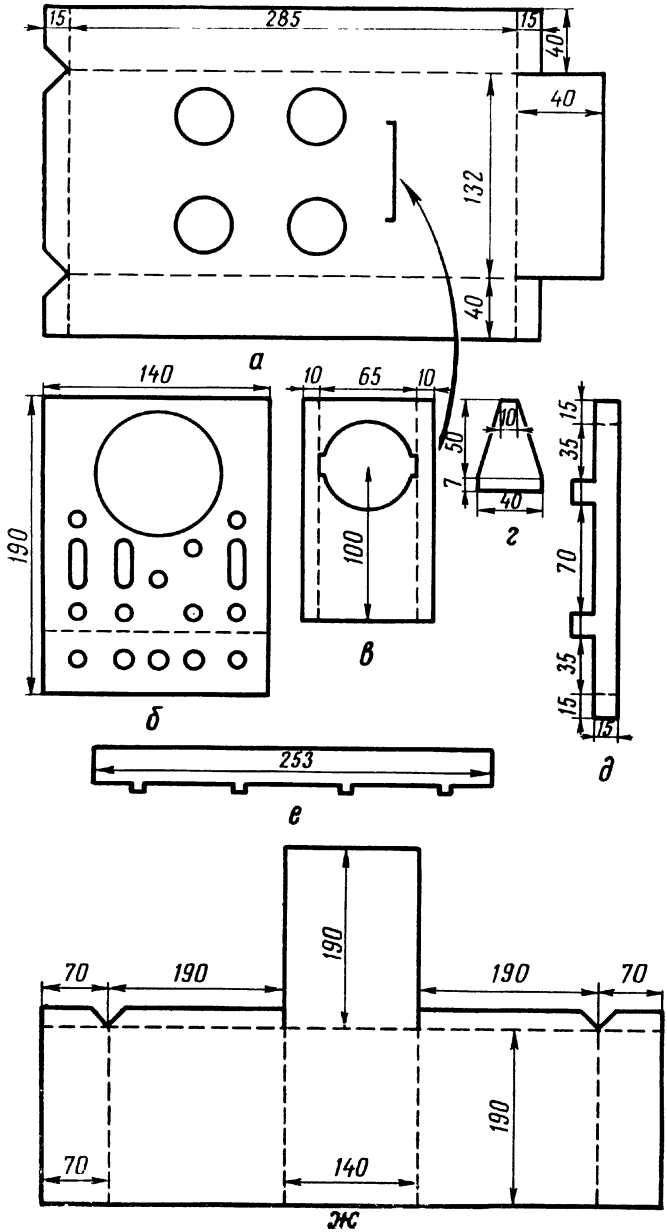

Рис. 39. Выкройки и разметки панели блока электронно-лучевой трубки:

а — горизонтальная панель; *б* — передняя панель (она же является передней стенкой корпуса); *в* — стойка для крепления трубки; *г* — косынка для крепления стойки к панели; *д* — кольцо для крепления цоколя трубки; *е* — кольцо для крепления защитного экрана; *ж* — корпус.

на ножки электронно-лучевой трубки. Поверх каждой металлической трубочки надо надеть отрезок виниловой трубки.

Примерное расположение деталей на панели показано на рисунке 41. Некоторые детали (конденсаторы, сопротивления) укрепляют на лепестках панелей и переключателей в процессе

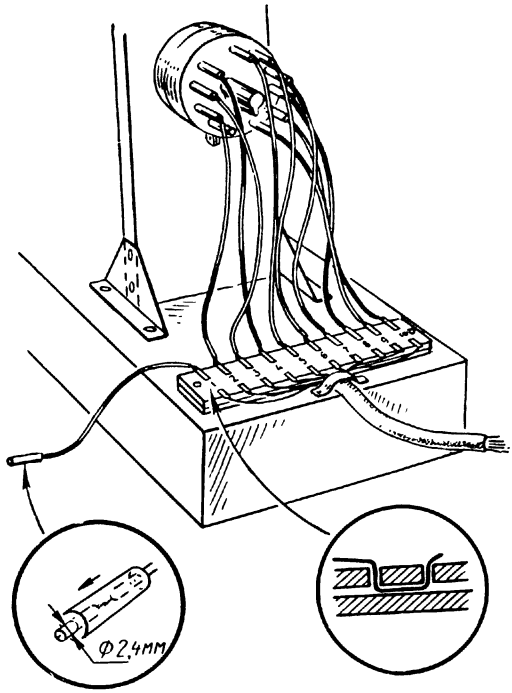

Рис. 40. Один из способов включения блока электронно-лучевой трубки в сеть.

монтажа. Блок подключается к выпрямителю с помощью шланга и двух штепсельных разъемов. Длина шланга около 1000 *мм*. Это позволяет избежать влияния магнитных полей выпрямителя на электронный луч, благодаря чему необходимость в магнитном экране для электронно-лучевой трубки отпадает и вся конструкция упрощается.

Ручки управления и три входа блока надо расположить на передней (лицевой) стенке панели. На панели необходимо укрепить два угольника, которые будут фиксировать положение кожуха. Кожух крепится винтом, который завинчивается в гайку, прикрепленную к шасси. Со стороны экрана электронно-лучевую трубку необходимо защитить органическим стеклом.

Все прямоугольные конденсаторы крепят к шасси скобами. Часть конденсаторов и постоянных сопротивлений располагают на отдельной пластине из гетинакса в нижней части шасси.

Монтажные провода собирают в два жгута и прокладывают между ламповыми панельками и планкой с сопротивлениями и конденсаторами. Монтаж начинают с цепей накала. О технике выполнения монтажа было сказано ранее.

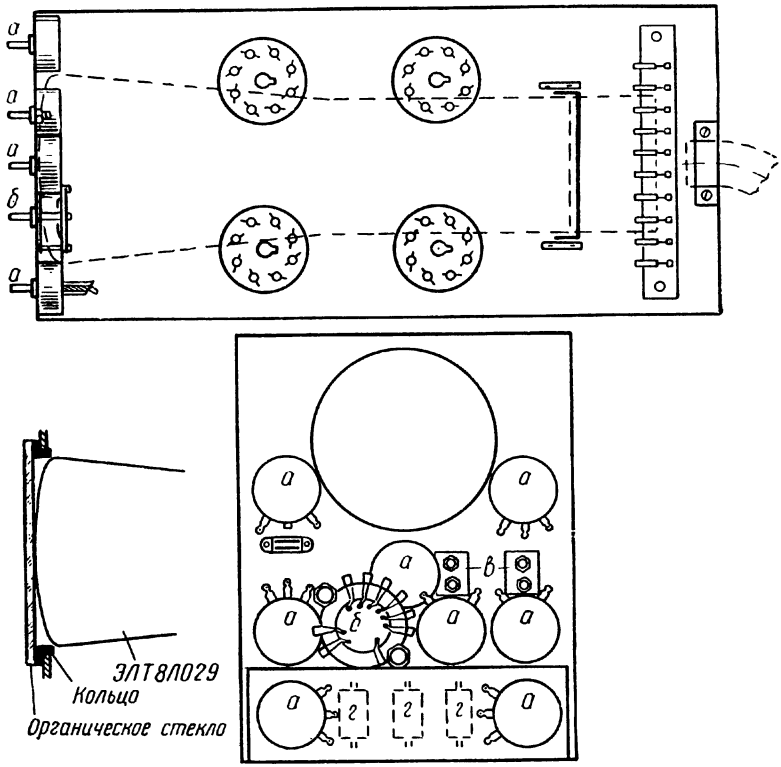

Рис. 41. Примерное расположение деталей в блоке электронно-лучевой трубки:
а — переменные сопротивления; *б* — переключатель; *в* — первый и второй вход; *г* — выключатели.

Для испытания блока ставят на место электронно-лучевую трубку, следя, чтобы плоскость отклоняющих пластин, которые расположены ближе к экрану, была горизонтальна. Кольцо, охватывающее цоколь трубки, затягивают. Затем ставят и закрепляют переднее кольцо с защитным экраном. Присоединяя провода к ножкам лампы, надо следить за совпадением номера ножки лампы и присоединяемого к ней провода.

Электронные лампы при монтаже не вставляют. На стол, на некотором расстоянии от блока электронно-лучевой трубки, ставят выпрямитель на 300 *в*. Убедившись, что все выключатели стоят в положении «Откл.», блок и выпрямитель соединяют

шлангом и включают выпрямитель в сеть. Включив первичную обмотку силового трансформатора, надо убедиться, что катод электронно-лучевой трубки нагревается. Когда катод нагреется, вольтметр переключают на предел (2000 *в*) и включают низкое и высокое выпрямленные напряжения. Вращением ручки «Яркость» можно возбудить свечение экрана. Вращением ручки «Фокусировка» собирают светящееся пятно в точку. Уменьшая яркость луча, делают пятно едва заметным, чтобы предохранить экран трубки от разрушения. Если при вращении ручки «Фокусировка» не удается добиться превращения светящегося пятна в точку, это означает, что необходимый потенциал выше или ниже того, который можно снять с этого потенциометра. Чтобы сместить пределы изменения потенциометра, нужно заменить одно из сопротивлений в делителе напряжения на большее или меньшее (надо помнить, что падение напряжения на одном сопротивлении, постоянном или переменном, не должно превышать 500 *в*).

Если при вращении ручек вообще не меняется картина на экране, это означает отсутствие напряжения на электродах трубки (обрыв в цепи или отсутствие контакта). В этом случае, отключив блок, надо проверить напряжения на выходе выпрямителя. Затем авометром проверяют наличие напряжения в последующих точках цепи. Находят и устраняют место разрыва цепи.

С механизмом фокусировки яркости связано смещение луча вдоль вертикальной и горизонтальной осей. При вращении ручек смещения осей пятно должно смещаться вверх и вниз, вправо и влево. Если смещения луча не происходит, значит отсутствует контакт или есть обрыв в соответствующей цепи.

По окончании предварительного испытания переключают все выключатели в положение «Отключено», выключают высокое (1600 *в*) и низкое напряжения — первичную обмотку силового трансформатора. Затем вставляют лампы генератора напряжения развертки 6Ж7 и ТГ1 и включают первичную обмотку силового трансформатора. Когда катоды обеих ламп будут нагреты, переключатель частоты развертки ставят на 1-й диапазон (1—10 *гц*) и включают напряжения 300 *в* и 1600 *в*. Светящаяся точка на экране должна при этом двигаться по горизонтали. Вначале ручку «Амплитуда синхронизации» ставят на нуль, а переключатель рода синхронизации — в положение «Сеть». При вращении ручки «Амплитуда развертки» длина пути, пробегаемого лучом, меняется. Если амплитуду пробега будем все время увеличивать, то генерация может сорваться (тиратрон будет все время запертым из-за чрезмерно большого отрицательного напряжения на сетке).

Может случиться и так, что в нулевом положении ручки «Амплитуда синхронизации» и исправном генераторе развертки луч останется неподвижным.

Это случается тогда, когда амплитуда развертки равна нулю или, напротив, чрезмерно велика.

Отсутствие напряжения развертки указывает на разрыв в цепи генератора напряжения развертки. В этом случае надо проверить наличие напряжения на ножках ламп и соединительных проводах. Причиной может быть большой ток утечки конденсатора или малый анодный ток пентода. Чтобы исключить подозрение на неисправность конденсатора, надо сменить диапазоны частот развертки. Если развертки по-прежнему нет, проверяют конденсатор в катодной цепи тиратрона. Для этого измерьте напряжение между катодом и сеткой, может быть, оно чрезмерно велико. Проверьте работу генератора напряжения развертки на всех диапазонах.

Чтобы изменить диапазоны развертки, надо сменить конденсаторы — один или все, или изменить напряжение на экранной сетке пентода.

При настройке электронного переключателя первой ставят выходную лампу. На одни из входных контактов подают переменное напряжение (6,3 *в*) от гнезда «контрольный сигнал» (гнездо 3 на рис. 22). Потенциометр входа ставят в среднее положение. Включают первичную обмотку силового трансформатора, оба напряжения. Выждав не менее 30 *сек*, включают анодное напряжение на тиратрон. На экране будут видны бегущие линии. Переключатель диапазонов частоты развертки ставят во второе положение (10—100 *гц*) и, плавно меняя частоту развертки, добиваются синхронности изменения тока в цепи и частоты развертки. На экране должна быть видна синусоида, но полной неподвижности ее добиться обычно не удается.

Получение наиболее устойчивой картины достигается плавным вращением ручки «Амплитуда синхронизации».

При исправных деталях и правильно собранной схеме неполадок быть не может, за исключением отсутствия контактов или обрывов.

Затем вращают ручку «Усиление». При этом на сетку лампы будет подаваться большее или меньшее напряжение. Соответственно этому амплитуда синусоиды на экране будет увеличиваться или уменьшаться. Отметьте точкой на ручке и корпусе нулевое положение, при котором сигнал не поступает в лампу.

Теперь переключите контрольный сигнал на второй вход, проверьте работу входного потенциометра, вращая ручку «Усиление», и отметьте нулевое положение и у этого входа.

Поставьте оба потенциометра на нуль и подайте контрольный сигнал на оба входа. Поставьте на место второй двойной триод. Вращая ручку «Смещение кривых», вы получите на экране две пунктирные кривые, расстояние между которыми меняется при вращении ручки. Вращайте теперь ручки «Усиление». Вы увидите на экране две синусоиды.

Если на экране раздвоения синусоид не будет, значит мультивибратор не работает. Это может случиться только при неверном монтаже или неисправных конденсаторах, через которые напряжение с анодов передается на сетки.

Испытание блока на этом заканчивается.

5. УСИЛИТЕЛЬ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Назначение усилителя низкой частоты общеизвестно.

Кроме обычных применений, прибор может быть полезен для регистрации на слух гамма-фотонов с помощью счетчиков. Наконец, усилитель может быть использован для воспроизведения грамзаписей, трансляции радиопередач. Чтобы он отвечал этим требованиям, необходимы два каскада.

Усилитель будет работать правильно лишь в том случае, если потенциалы электродов ламп и токи имеют значение, строго определенное для каждой лампы. Приводим эти значения:

	6Ж7	6П6С
Напряжение накала	6,3 *в*	6,3 *в*
Ток накала	0,300 *а*	0,45 *а*
Потенциал анода	250 *в*	250 *в*
Потенциал экранной сетки	100 *в*	250 *в*
Потенциал управляющей сетки	0 *в*	0 *в*
Потенциал катода	+ 3 *в*	+ 12,5 *в*
Ток анода	2,1 *ма*	45 *ма*
Ток экранной сетки	0,6 *ма*	4,5 *ма*

На рисунке 42 дана принципиальная схема усилителя низкой частоты.

На вход усилителя включен потенциометр, позволяющий регулировать амплитуду сигнала, поступающего на сетку лампы 6Ж7 от нуля до максимума. Регулирование необходимо потому, что чрезмерно большой сигнал может возникнуть на сетке второй лампы, куда он подается после усиления его на правом каскаде. Допустим, что коэффициент усиления первого каскада равен 100. Тогда при отрицательном смещении на сетке лампы 6П6С в —12,5 *в* достаточно амплитуды сигнала на входе усилителя в 0,13 *в*, чтобы возникли искажения. Сигнал же такой величины может возникнуть очень легко.

К экранной сетке лампы 6Ж7 присоединены сопротивление и конденсатор, образующие ячейку фильтра.

Конденсатор C выбирается так, чтобы время его разряда было много больше времени самого большого периода усиливаемых колебаний, т. е. $R_4C_2 \gg 0{,}01$ *сек*. Отсюда находим, что емкость конденсатора должна быть равна 0,005 *мкф*, рабочее напряжение 400 *в*.

При желании с выхода усилителя можно снять усиленное напряжение для исследования на осциллографе и для других целей. Выход может быть использован и для включения пьезоэлектрического или высокоомного электромагнитного громкоговорителя.

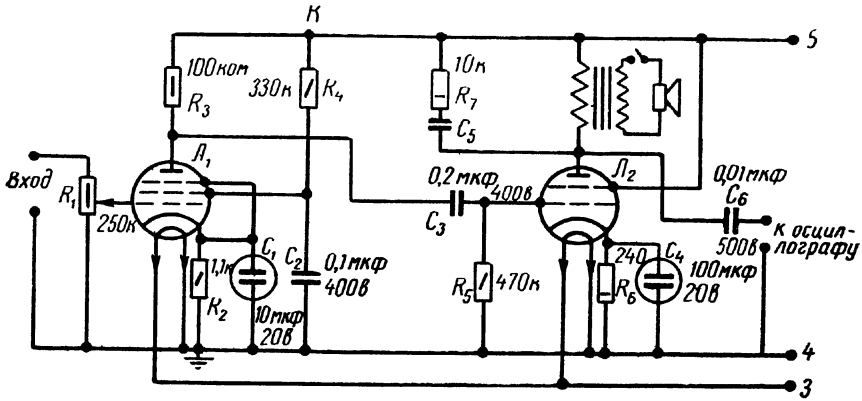

Рис. 42. Принципиальная схема усилителя низкой частоты.

Цепочка R_7C_5, подключенная параллельно первичной обмотке выходного трансформатора, служит для улучшения частотной характеристики выходного каскада. Индуктивность первичной обмотки должна быть такой, чтобы ее сопротивление переменному току самой низкой из тех частот, какие придется усиливать (100 *гц* в нашем случае), соответствовало оптимальному сопротивлению анодной нагрузки данной лампы (в случае 6П6С — 6200 *ом*).

Для преобразования электрических колебаний в звуковые используется динамик с постоянным магнитом 1ГД5 (1ГД9). Нормальная мощность его излучения 1 *вт* при минимальных искажениях. При необходимости параллельно этому динамику может быть включен второй, большей мощности (при воспроизведении грамзаписи в большом зале).

Сопротивление звуковой катушки динамика очень мало: 6 *ом*, а наименьшее искажение при усилении с помощью лампы 6П6С получается в том случае, если сопротивление нагрузки в анодной цепи составляет 6 *ком*. Для согласования цепей используется трансформатор. Сопротивление нагрузки $R_н$, включенной во вторичную обмотку, эквивалентно нагрузке, включенной в первичную цепь, с приведенным сопротивлением:

$$R_н^{I} = R_н^{II} : K^2,$$

где K — коэффициент трансформации, равный отношению чисел витков в обмотках: $K = \frac{w_2}{w_1}$ при $w_1 > w_2$.

В нашем случае приведенное сопротивление должно составлять 6 *ком*, а сопротивление нагрузки 6 *ом*. Это позволяет найти коэффициент трансформации K.

Если имеется в виду использовать в дальнейшем всю мощность, какую возможно получить от усилителя, то надо заранее обзавестись динамиками, которыми усилитель будет нагружаться, и построить выходной трансформатор (или подобрать из имеющихся в продаже), который обеспечил бы получение необходимой мощности при выбранных динамиках. Лампа 6П6С может отдавать мощность до 5 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений 8,5%. При отборе меньшей мощности искажения будут значительно меньше.

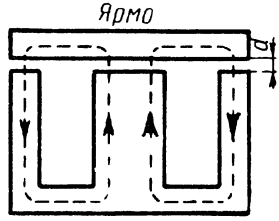

Рис. 43. Воздушный зазор выходного трансформатора равен удвоенной величине расстояния *d*. Для фиксации величины промежутка можно положить под ярмо кусок картона толщиной *d*.

Выходной трансформатор, помимо того, что он должен обладать определенным коэффициентом трансформации и мощностью, должен иметь первичную обмотку определенной индуктивности. Находясь в анодной цепи выходной лампы, первичная обмотка только в том случае обеспечит правильное воспроизведение усилителем низких частот, если ее индуктивное сопротивление токам низкой частоты будет достаточно велико.

Индуктивное сопротивление обмотки в сильной степени зависит от намагниченности сердечника. Вблизи области магнитного насыщения стали, индуктивное сопротивление обмотки значительно уменьшается. Через первичную обмотку в однотактных схемах течет постоянный ток, который, складываясь с протекающим по ней переменным током, может привести к насыщению стали сердечника, что и приводит к появлению искажений. С этим борются, оставляя в сердечнике воздушный зазор (как и в дросселе выпрямителя), как показано на рисунке 43.

Для счета элементарных частиц используется счетная трубка — двухэлектродный газонаполненный прибор. Внешний вид и внутреннее устройство счетчика гамма-фотонов показаны на рисунке 44. Оба электрода счетной трубки при работе остаются холодными. Нить присоединяется обычно к положительному полюсу источника питания, а цилиндр является катодом. Напряжение, при котором трубки работают в режиме счетчиков (плато), обычно колеблется в пределах 150—200 *в*. Например, от 700 до 900 *в*. Рабочее напряжение в этом случае выбирается на 100 *в* больше минимального, то есть 800 *в*.

Потребляемый счетной трубкой ток составляет доли миллиампера. При прохождении через счетчик элементарной частицы (протона, нейтрона, электрона, позитрона, фотона или α-частицы) в счетчике возникает разряд, который легко может быть за-

регистрирован. Для каждого рода частиц счетчики имеют особую конструкцию. Имеются счетчики и универсального назначения. Мощность возникающих в счетчике разрядов очень мала, и для их регистрации необходимо дополнительное устройство, например осциллограф или усилитель низкой частоты.

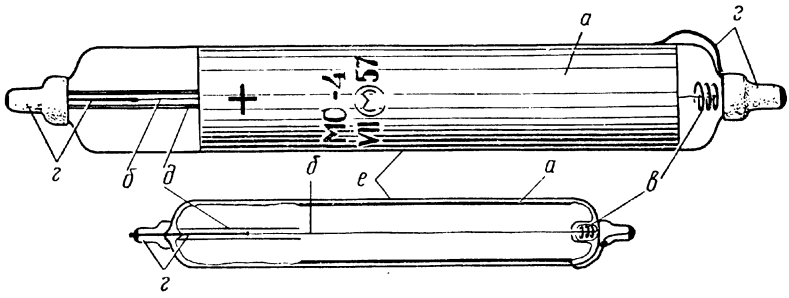

Рис. 44. Счетная трубка МС-4:

а — медный цилиндрический катод; *б* — анод; *в* — пружина, натягивающая нить анода; *г* — металлические колпачки, к которым припаяны выводы; *д* — защитная стеклянная трубочка; *е* — стеклянный корпус.

Для несамогасящих счетчиков существует опасность возникновения непрерывного разряда после попадания в него первой частицы. Чтобы этого не происходило и чтобы прохождение ча-

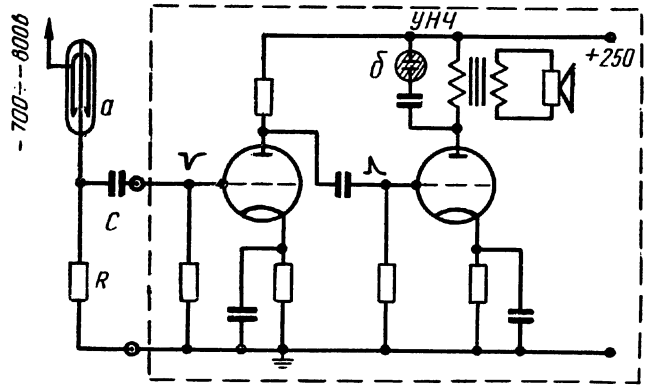

Рис. 45. Схема включения счетной трубки на вход усилителя низкой частоты (УНЧ):

а — счетная трубка; *R* — сопротивление 1÷2*мгом*; С — конденсатор 20÷200*пф*; *б* — неоновая лампа.

стицы счетчик отмечал единичным разрядом, необходима специальная схема (см. рис. 45).

Так как нить счетчика (анод) соединена с «Землей», то нормально ее потенциал равен нулю. Потенциал цилиндрического электрода счетчика (катода) отрицателен. В момент прохожде-

ния через счетчик частицы в нем возникает разряд, нить заряжается отрицательно и ее потенциал сравнивается с потенциалом катода. Поле в счетчике исчезает, и разряд гаснет. Такой же отрицательный заряд получает и соединенная с нитью пластина конденсатора. Зарядившись отрицательно, левая пластина создает в конденсаторе поле, под действием которого электроны отбрасываются из правой пластины на сетку. В землю они не могут быстро уйти благодаря большой величине гасящего сопротивления R_c. Постепенно заряд стекает, и потенциалы сетки и нити счетчика восстанавливаются.

Таким образом, счетчик на некоторое время, зависящее от величины гасящего сопротивления и емкости конденсатора, автоматически выключается. Поэтому частицы, попадающие в трубку в период восстановления потенциала на электродах, не фиксируются.

При каждом срабатывании счетчика к сетке первой лампы оказывается приложенным отрицательный импульс. Форма его видна на рисунке 45. Этот импульс усиливается и при прохождении через счетчик элементарной частицы в динамике слышен щелчок.

Изготовление усилителя низкой частоты. Прежде всего требует решения вопрос о выходном трансформаторе. Если будет решено брать с усилителя все, что он может дать (5 *вт*), то нужно найти подходящий электродинамический громкоговоритель (а может быть несколько) и изготовить трансформатор на 5 *вт* выходной мощности, рассчитанный на работу с лампой 6П6С. Приведем данные выходного трансформатора для каскада на лампе 6П6С и с электродинамическим громкоговорителем мощностью 5 *вт*, например 5ГД9, 5ГД10 или 5ГД14 (с очень удобным эллиптическим диффузором). Его звуковая катушка имеет сопротивление 4 *ом*. Изготовленный трансформатор будет годен для любого динамика с сопротивлением звуковой катушки 4 *ом*. Таких очень много: 27Д-3 (2 *вт*), 3ГД-2 (3 *вт*), 4ГД-1 (4 *вт*).

Толщина стопы пластин должна быть 33 *мм*, если сердечник собирают из стали Ш-25. Провод укладывают на каркас из картона или тонкого гетинакса (рис. 46).

Изготовление обмотки описывалось ранее. При изготовлении первичной обмотки не обязательно накладывать изоляцию через каждый слой. Вполне достаточно класть бумагу через два-три слоя (примерно через каждые 500 витков). Какая обмотка будет уложена первой, не имеет значения. Обмотки друг от друга хорошо изолируют.

Для первичной обмотки берется провод ПЭЛ 0,17; число витков в первичной обмотке — 3500. Вторичная обмотка имеет 87 витков и выполняется проводом ПЭЛ 0,8. Полезно увеличить число витков вторичной обмотки до 110, сделав отводы от 49, 87, 100, 110 витков. Это позволит включить, например, в параллель 5 динамиков 1-ГД-9. Их сопротивление составляет 1,2 *ом*, и для

них потребуется всего 49 витков. Динамик 5ГД14 будет подключен к 87 виткам, а один динамик 1ГД9 — к 100 виткам, так что всегда можно будет обеспечить оптимальную величину приведенного к первичной цепи сопротивления нагрузки.

Параллельно первичной обмотке выходного трансформатора необходимо поставить корректирующую цепь, состоящую из одноваттного сопротивления $R_7 = 10$ *ком* и конденсатора $C_5 = 0{,}015$ *мкф* с рабочим напряжением не меньше 400 *в*.

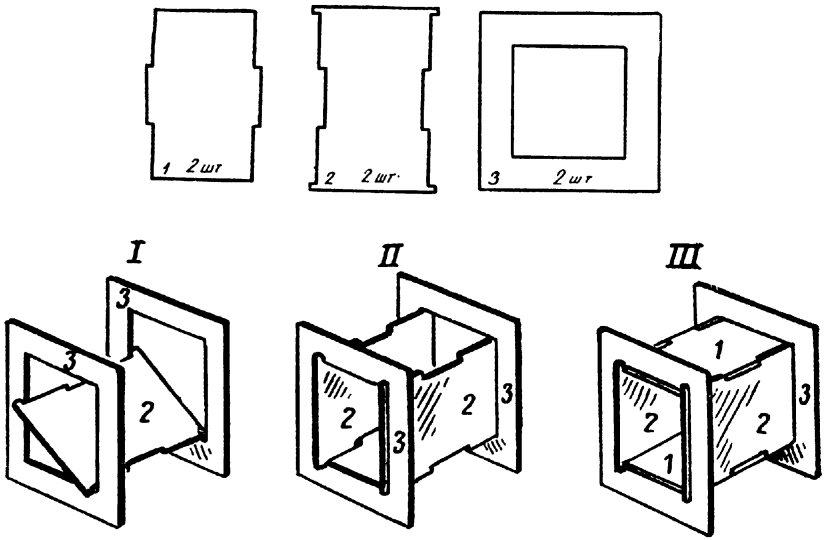

Рис. 46. Сборный каркас для катушки; изготовляется из гетинакса, текстолита или плотного картона.
Выкройка и порядок сборки.

Если будет использован динамик с другим сопротивлением, чем у 5ГД14, то данные первичной обмотки не изменяются, а число витков вторичной обмотки вычисляется по формуле:

$$w_2 = w_1 : \sqrt{\frac{6200}{R}} = 44{,}5\sqrt{R},$$

где R — сопротивление звуковой катушки динамика. Если сопротивление звуковой катушки динамика больше 4 *ом*, то следует взять C_5 меньшей емкости. Если сопротивление меньше 4 *ом*,— попробовать увеличить емкость.

В том случае, если усилитель будет использоваться только на уроках, нет никакой необходимости строить такой громоздкий трансформатор. Постарайтесь найти готовый от какого-либо приемника, на выходе которого стоит лампа 6П6С. В этом случае вполне удовлетворяет всем потребностям громкоговоритель 1ГД9 или 1ГД5, мощностью 1 *вт*. На случай изготовления выходного трансформатора приводим его данные: сердечник из

стали Ш-19, толщина набора 20 *мм*, воздушный зазор 0,2 *мм*. Первичная обмотка выполняется так же, как и ранее, из провода ПЭЛ 0,17. Число витков — 7500. Число витков первичной обмотки — 210 из провода 0,5.

Корректирующая цепочка: $R_7 = 10$ *ком* и $C_5 = 0{,}007$ *мкф*.

Если потребуется пересчитать данные для другого пакета стали, то необходимо исходить из того, что для лампы 6П6С индуктивность первичной обмотки должна быть 14 *гн*. Данные корректирующей цепочки от размеров пакета не зависят.

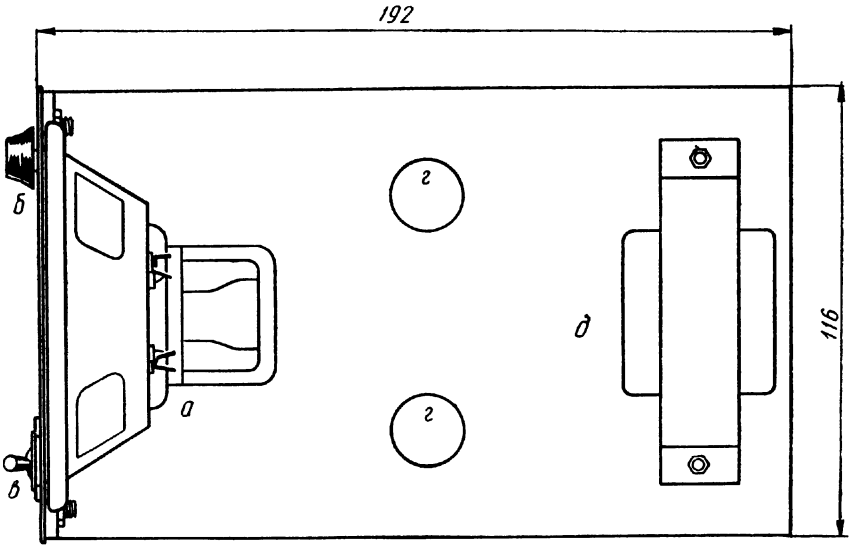

Рис. 47. Примерное расположение деталей в усилителе низкой частоты (вид сверху).

а — динамик 1ГД-9; *б* — переменное сопротивление R_1 (см. рис. 42); *в* — выключатель; *г* — места для установки ламп; *д* — выходной трансформатор.

Кроме выходного трансформатора, нужно изготовить трехпроводной шланг и два штепсельных разъема для присоединения усилителя низкой частоты к выпрямителю, гнезда для подключения микрофона или звукоснимателя и гнезда для включения высокоомного громкоговорителя. Шланг можно не заключать в трубку. Для упрощения работы можно подключить шланг к усилителю низкой частоты без штепсельного разъема. На другом конце шланга и в этом случае ставят цоколь от лампы (для подключения к выпрямителю). Нужно еще изготовить экранирующий колпачок на сетку лампы 6Ж7.

Изготовив выходной трансформатор, можно сообразить, какие размеры должны иметь панели. Не следует стремиться чрезмерно уменьшать размеры панели. При тесном монтаже опасность возникновения паразитной связи значительно возрастает. Примерные размеры панели приведены на рисунке 47.

В усилителе использован фабричный выходной трансформатор и громкоговоритель 1ГД9. На этих же рисунках можно видеть примерное расположение деталей усилителя.

Для крепления выходного трансформатора используется обойма, которой стянуты пластины сердечника. Если она окажется просторной, подкладывают картон. Нужно постараться так изготовить обойму, чтобы болты, крепящие трансформатор к шасси, одновременно притянули ярмо к стержням сердечника. Для образования необходимого воздушного зазора подкладывается листок картона.

Когда изготовлены все самодельные детали и приобретены необходимые фабричные, следует тщательно проверить их исправность и соответствие величинам, указанным на схеме. Отступления величин сопротивлений на 10% в любую сторону допустимы для всех сопротивлений. Мощность их может быть больше указанной. Рабочее напряжение и величина емкости конденсаторов развязок (в катодных цепях, в цепи экранной сетки 6Ж7) также могут быть больше расчетной. Емкость переходного конденсатора не должна отличаться от указанной на схеме более, чем на 10%. При этом произведение $C_n \cdot R_2$ должно лежать в пределах от 0,01 до 0,025 *сек*.

Сборка и монтаж усилителя ведется в соответствии с указаниями, о которых говорилось ранее. Нужно помнить, что отказ устройства в работе чаще всего вызывается ошибками, допущенными при монтаже.

Испытание усилителя низкой частоты начинайте после полного окончания сборки и монтажа.

Предварительно еще раз проверьте монтаж по схеме.

Включите и проверьте выпрямитель; вольтметр необходимо включить на напряжение 300 *в*. Включите первичную обмотку силового трансформатора, постоянное напряжение 300 *в*. Если все в порядке, не выключая выпрямитель из сети, поставьте выключатель сети и постоянного напряжения в положение «отключено» и присоедините усилитель низкой частоты к выпрямителю, включите выпрямитель в сеть. Некоторое время спустя можно будет видеть, что катод лампы 6П6С разогрелся. Включают анодное напряжение и громкоговоритель.

Правильно собранный усилитель будет молчать. Если теперь коснуться пальцем сетки лампы 6Ж7 (колпачок вверху баллона), то будет слышен нестройный гул наводок и генерации. Это показывает, что усилитель работает. Может случиться, что при включении анодного напряжения усилитель начнет генерировать, и будет слышен громкий немузыкальный звук, чаще высокого тона. Это означает, что имеются обратные связи. В этом случае надо поставить на место экран — накрыть сетку заготовленным колпачком. Если генерация не исчезает, внимательно осмотрите монтаж, чтобы найти причину наводок. Если это ничего не дало, уменьшайте усиление первого каскада, уменьшив

величину сопротивления в цепи анода первой лампы. Усиление второго каскада значительно меньше, и мало вероятно, что он является причиной генерации. Для того чтобы убедиться в отсутствии генерации во втором каскаде, удалите лампу 6Ж7. Наиболее частой причиной генерации является связь сеточной цепи 6Ж7 с анодной цепью 6П6С. Достаточно расположить контактный лепесток динамика, выходного трансформатора, провод, идущий к динамику, и проч., близко к сетке, чтобы возникла генерация.

Если генерация имеет характер щелчков, то это означает, что $C_п$ и R_{c_2} подобраны неверно.

Может случиться, что при исправных деталях и точном монтаже усилитель все же не работает. В этом случае нужно заменить лампы, сначала одну, а потом вторую.

Коэффициент усиления рекомендуемого усилителя невелик: всего 1300. Это и определяет легкость его изготовления.

Если грубых ошибок в расположении деталей нет, усилитель, как правило, при первом же включении начнет устойчиво работать.

Убедившись, что усилитель работает, можно включать на вход звукосниматель.

При проигрывании пластинки обратите внимание на тембр звучания. Его можно регулировать, меняя величину емкости конденсатора в корректирующей цепочке (C_5). Подбором этой емкости заканчивается изготовление усилителя низкой частоты.

Перечень необходимых деталей и приборов.

Лампа 6Ж7	1
Лампа 6П6С	1
Ламповые панели (одна будет использоваться для шланга штепсельного разъема)	3
Цоколи от старых ламп	2
Планка с двумя штепсельными гнездами (для входа и выхода усилителя)	2
Выключатель	1
Переменное сопротивление ВК А/0,5/250 *ком*	1
Сопротивление ВС/0,25 *вт*/ 1,1 *ком*	1
» 330 »	1
» 470 »	1
» 0,5 *вт* 100 »	1
Сопротивление ВС/1 *вт*/ 10 *ком*	1
» 240 *ом*	1
Конденсатор электролитический 10 *мкф*, рабочее напряжение 20 *в*	1
Конденсатор электролитический 100 *мкф*, рабочее напряжение 20 *в*	1
КБГИ, рабочее напряжение 400 *в*, 0,1 *мкф*	1
КСО, рабочее напряжение 500 *в*, 0,02 *мкф* (20 000 *пф*)	1

КСО, рабочее напряжение 500 *в*, 0,01 *мкф* (10 000 *пф*) 1
Выходной трансформатор 1
Громкоговоритель 1ГД9 1
Панель и корпус 1
Монтажные провода, экранированный провод, всего 4 *м*.

6. ТИРАТРОННЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ, УПРАВЛЯЕМЫЙ ФОТОЭЛЕМЕНТОМ

Тиратронный выпрямитель, управляемый фотоэлементом, можно еще назвать фазочувствительным выпрямителем.

Тиратрон, играющий в нем основную роль, работает так же, как и ртутный выпрямитель с сеткой или игнитрон, находящие большое применение в промышленности. Первое его назначение состоит в том, чтобы дать представление учащимся об устройст-

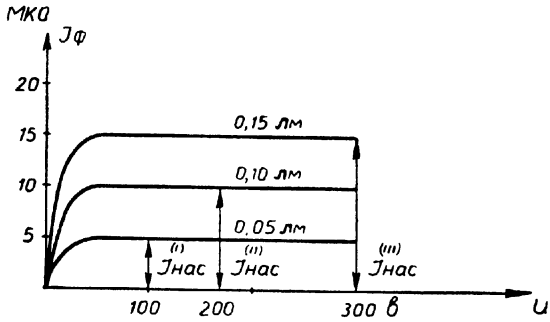

Рис. 48. Вольтамперная характеристика фотоэлемента СЦВ—4.

вах промышленной электроники, в частности о бесконтактном управлении электрическими цепями. Его удобно использовать с различными моделями промышленного автоматического оборудования, в том числе и схемах проволочного телеуправления.

Затем фазочувствительный выпрямитель позволяет легко и очень наглядно демонстрировать влияние обратной связи на работу усилителя, что позволяет непосредственно ввести учащихся в круг основных представлений электроники и автоматики.

Наконец, фазочувствительный выпрямитель является хорошим и надежным фотореле, причем может непосредственно приводить в движение моторчик и питать другие приемники, если они потребляют ток не более 0,1 *а*.

На рисунке 49 дана принципиальная схема фазочувствительного выпрямителя. Переключатель позволяет помещать фотоэлемент или в верхней или в нижней части цепочки и, таким образом, менять характер зависимости тока в нагрузке от освещенности. Когда фотоэлемент становится на место конденсатора,

последовательно с ним включается сопротивление (штриховые линии на рисунке 49). В этом положении фазочувствительный выпрямитель не может так же плавно менять ток через нагрузку при изменении освещенности фотоэлемента. Возможность плавного регулирования демонстрируется при положении переключателя, изображенном на рисунке 49 сплошной линией.

Выключатель в цепи анода тиратрона позволяет подать напряжение на анод после того, как катод будет достаточно прогрет. Он не служит для включения и выключения нагрузки.

При изготовлении фазочувствительного выпрямителя самой ответственной из самодельных деталей является автотрансформатор. Основное его назначение — накал катода. Мощность, потребная для этого, в случае ТГ1 составляет 4 *вт*, напряжение накала 6,3 *в*, ток 0,6 *а*. Мощность трансформатора должна составлять 6,7 *вт* при к. п. д. 60%.

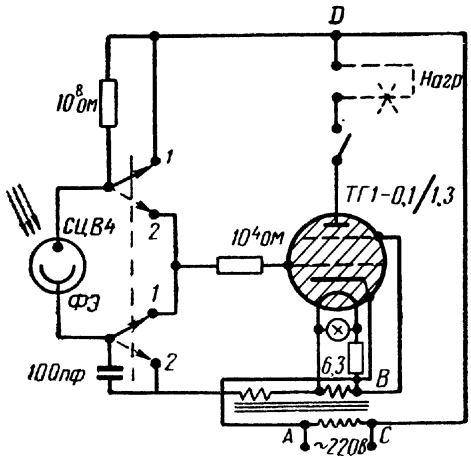

Рис. 49. Принципиальная схема тиратронного выпрямителя, управляемого фотоэлементом.

Приводим основные данные трансформатора:

Сечение стального сердечника	2,6 *см*^{2}
Число витков первичной обмотки при напряжении сети 220 *в*	3400
Диаметр провода ПЭЛ (ток 38 *ма*)	0,15 *мм*
При напряжении сети 127 *в* число витков	1960
Диаметр провода ПЭЛ	0,22 *мм*
Число витков вторичной обмотки	100
Диаметр провода ПЭЛ	0,60 *мм*
Число витков дополнительной обмотки	700
Диаметр провода ПЭЛ	0,1—0,15 *мм*

Окно трансформатора должно быть не менее 2 *см*^{2}.

Можно использовать один из дросселей фильтра, имеющихся в продаже. Сечение провода на дросселе фильтра из приемника 1—2 класса обычно бывает около 0,15—0,17 *мм*, сердечник такого дросселя необходимо разобрать, намотать недостающие обмотки, а затем вновь собрать, но на этот раз без воздушного зазора в стальном сердечнике (как собирают сердечники в трансформаторах).

Весьма ответственными деталями являются переключатель фотоэлемента и панель для его включения. И для переключате-

ля, и для панели необходим высококачественный диэлектрик, например органическое стекло (полиметилметакрилат). Эбонит, гетинакс, фибра и другие дают такой большой ток утечки, что работа схемы заметно искажается. Конструкция переключателя и панели (или стойки) показана на рисунке 50. Можно использовать и готовые изделия, но предварительно (собрав всю схему

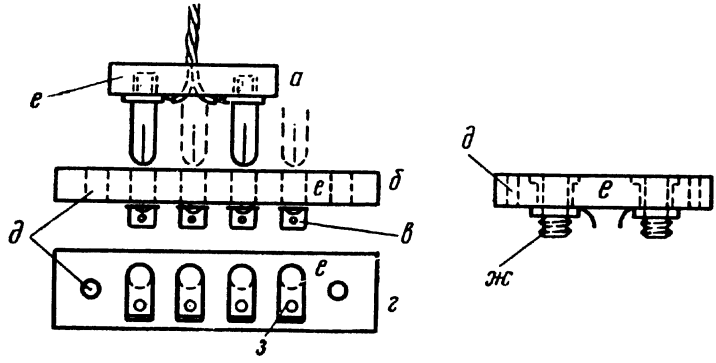

Рис. 50. Переключатель и панель для фотоэлемента:

а — вилка переключателя; *б* — колодка с 4 гнездами; *в* — контакты из упругой латуни; *г* — вид на колодку снизу; *д* — отверстия для крепления колодки; *е* — пластинка из органического стекла; *ж* — гнезда; *з* — заклепки.

прямо на столе) надо убедиться, что фазочувствительный выпрямитель будет работать с ними нормально.

Затем изготовляют планку с двумя штепсельными гнездами для включения нагрузки и планку с двумя штепсельными штырями для включения фазочувствительного выпрямителя в сеть. Кабель с колодкой и штепсельной вилкой для включения можно найти готовый.

Размеры панели показаны на рисунке 51. На рисунке 52 показан внешний вид тиратронного выпрямителя.

Как изготовить панель, собрать и выполнить монтаж, уже рассказывалось ранее. Можно отметить лишь одну особенность: после того как будут сделаны последние надписи, панель для фотоэлемента, переключатель, баллон и цоколь фотоэлемента тщательно протирают чистым спиртом (ректификатором). Протертые детали нельзя брать голыми руками.

Перед испытанием фазочувствительного выпрямителя нужно убрать все лишнее со стола, выключатель анодного напряжения тиратрона поставить в положение «отключено», вставить вилку от нагрузки (например, настольной лампы 15 *вт* 220 *в*) в гнезда выпрямителя «нагрузка». После этого подключить фазочувствительный выпрямитель к сети. Через 30 *сек* включают анодное напряжение. Если фотоэлемент осветить спичкой, накал лампы изменится. Переключите теперь фотоэлемент. Если раньше от освещения спичкой накал возрастал, теперь он будет уменьшаться (и наоборот).

Если выпрямитель не реагирует на свет ни при том, ни при другом положении переключателя, то это может означать, что две половины обмотки трансформатора включены навстречу

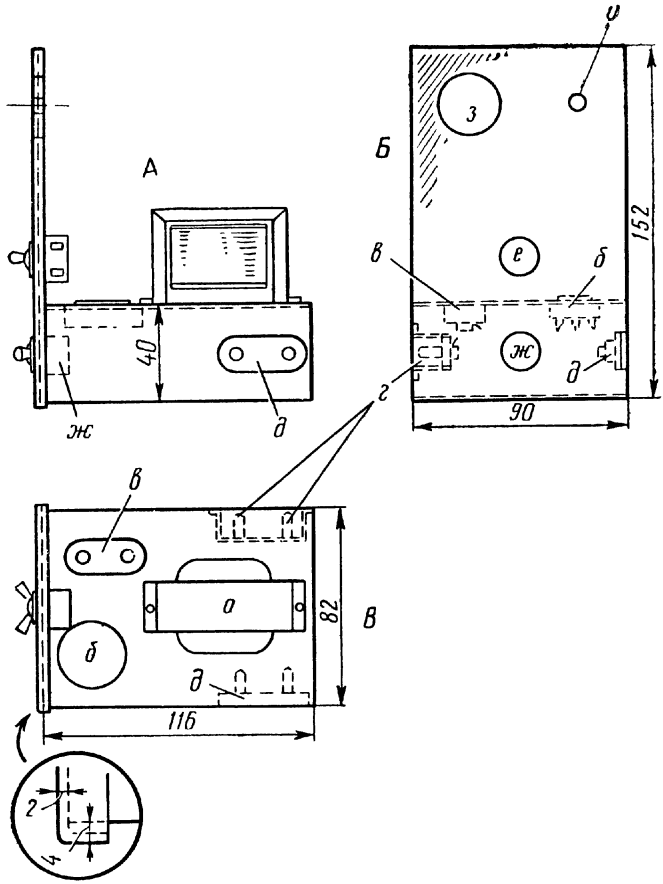

Рис. 51. Примерное расположение деталей тиратронного выпрямителя:

А — вид сбоку; *Б* — вид спереди; *В* — вид сверху. *а* — трансформатор; *б* — ламповая панель; *в* — панель для фотоэлемента; *г* — вход переменного тока; *д* — гнезда для включения нагрузки; *е* — выключатель в цепи анода; *ж* — переключатель рода работы; *з* — окно для освещения фотоэлемента; *и* — контрольная лампочка.

одна другой. Чтобы в этом убедиться, меняют местами концы обмотки, присоединяемой к сети.

Если и после этого фазочувствительный выпрямитель не реагирует на свет, то это означает, что изоляция переключателя, панели и ламповой панели недостаточно высокого качества. В этом случае следует заменить сначала переключатель, затем

панель фотоэлемента, а затем ламповую панель. После этого выпрямитель должен работать.

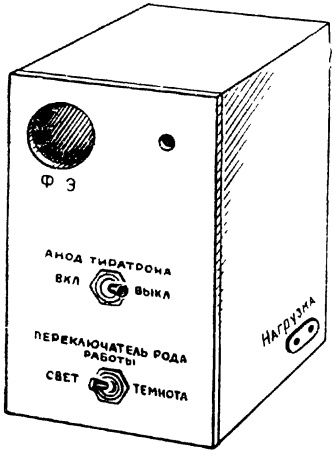

Рис. 52. Внешний вид тиратронного выпрямителя.

Перечень необходимых деталей для изготовления фазочувствительного выпрямителя:

Панель	
Кабель с вилкой и колодкой для включения фазочувствительного выпрямителя в сеть	1
Тиратрон ТГ1—0,1/1,3	1
Фотоэлемент СЦВ4	1
Панель для включения фотоэлемента в сеть	1
Планка с двумя штырями для включения фазочувствительного выпрямителя в сеть	1
Ламповая фарфоровая восьмиштырьковая панель	1
Галетный переключатель 2×2	1
Автотрансформатор для питания выпрямителя	1
Выключатель для анодной цепи тиратрона	1
Сопротивление ВС $10^8 \div 10^9$ *ом*, 2 *вт*	1
Сопротивление ВС 10^4 *ом*, 0,25 *вт*	1
Планка с двумя штепсельными гнездами для присоединения нагрузки	1
Монтажный провод	около 1 *м*.

ГЛАВА II

ОПЫТЫ С НАБОРОМ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ О ПОСТАНОВКЕ ОПЫТОВ

Учитель физики по сравнению со многими другими членами педагогического коллектива несет большую ответственность за развитие наблюдательности и мышления учащихся. Для развития этих важных качеств первостепенное значение имеет демонстрационный эксперимент. Преподавание физики без правильно поставленного демонстрационного эксперимента и лабораторных работ может привести в лучшем случае только к развитию памяти. Нет необходимости напоминать, какой ущерб наносится этим развитию детей. Демонстрационный эксперимент может дать учащимся тему для размышлений, дать работу их мысли. При демонстрации опытов не следует торопиться истолковывать результат, раскрывать сущность явления и формулировать выводы. Пусть вся эта работа будет проделана учащимися, по возможности самостоятельно, для чего им должно быть предоставлено достаточное время.

Другое замечание, которое необходимо здесь высказать, относится к технике безопасности. Учитель ни на минуту не имеет права забывать о безопасности детей (и своей). Всякая небрежность в работе учителя расхолаживает учеников, поэтому нужно со всем вниманием отнестись к выполнению правил эксплуатации рекомендуемого набора.

При проведении демонстраций важно добиться хорошей видимости приборов для каждого учащегося. Кроме того, необходимо, проверять опыты до урока, ибо ничто не влияет так худо на воспитание у учащихся нужных нам качеств, как неудавшаяся демонстрация.

Еще раз приведем правила обращения с высоковольтным выпрямителем в той последовательности, в какой о них следует вспоминать и выполнять.

1. При работе с высоковольтным выпрямителем корпус выпрямителя обязательно заземлять.

2. Наружные изоляторы выпрямителя и используемых приборов протереть начисто сухой тряпкой.

3. Убедиться, что выключатель главного трансформатора занимает положение «Отключено», и замкнуть накоротко электроды выпрямителя разрядником.

4. Собрать нужную установку.

5. С помощью шнура с колодкой и вилкой включить выпрямитель в сеть.

6. В гнезда выпрямителя «Сопротивление» включить нужный реостат.

7. Удалить всех присутствующих, если они находились вблизи выпрямителя, на расстояние не менее 1,5 *м*.

8. Оператору встать с той стороны выпрямителя, где расположен выключатель главного трансформатора; снять разрядник с электродов.

9. Включить главный трансформатор на необходимое для наблюдений время.

Запрещается: а) приближаться к установке с работающим выпрямителем всем, кроме оператора;

б) кому бы то ни было касаться электродов работающего выпрямителя или частей установки, находящихся под напряжением.

10. Все приборы, которые используются для опытов с установкой, содержащей работающий выпрямитель, должны иметь изолирующие ручки длиной не менее 300 *мм* (кондукторы, разрядники и др.).

11. По миновании надобности в высоком напряжении выключают главный трансформатор и накладывают на электроды разрядник.

12. По окончании всех опытов отключают выпрямитель от сети и разбирают установку.

13. Снимают заземление корпуса выпрямителя.

Правила требуют некоторых пояснений. Для заземления может быть использован действующий водопровод. В этом случае провод для заземления припаивают к трубе водопровода и протягивают под крышкой демонстрационного стола и рабочего стола в препараторской. В нескольких местах к проводу припаиваются зажимы с гайками.

Правила производства работ на высоковольтных промышленных установках и линиях передач предусматривают перед производством работ наложение видимого заземления. Этому и соответствует требование наложения разрядника. Для разрядника берут кусок прямого железного, латунного, алюминиевого или медного голого провода диаметром 3—4 *мм* и длиной 400 *мм*. Провод закрепляют на конце ручки длиной 300 *мм* из хорошего диэлектрика, например из органического стекла.

При данном напряжении длина ручки в 300 *мм* исключает возможность разряда на оператора через воздух. Возможность поверхностного разряда (из-за влажного воздуха, грязи на изо-

лирующей ручке) довольно велика, но разряд и в этом случае не достигнет опасной величины, однако это напоминает о необходимости поддержания чистоты изолирующих деталей.

Соблюдение всех изложенных выше правил обязательно при каждом опыте с высоковольтным выпрямителем.

ОПЫТЫ ПО ЭЛЕКТРОСТАТИКЕ

1. Наблюдение электрического и магнитного поля в цепи электрического тока

Оборудование: высоковольтный выпрямитель, реостат, гейслерова или рекламная газосветная трубка, школьный демонстрационный гальванометр, старая бобина от автомобиля

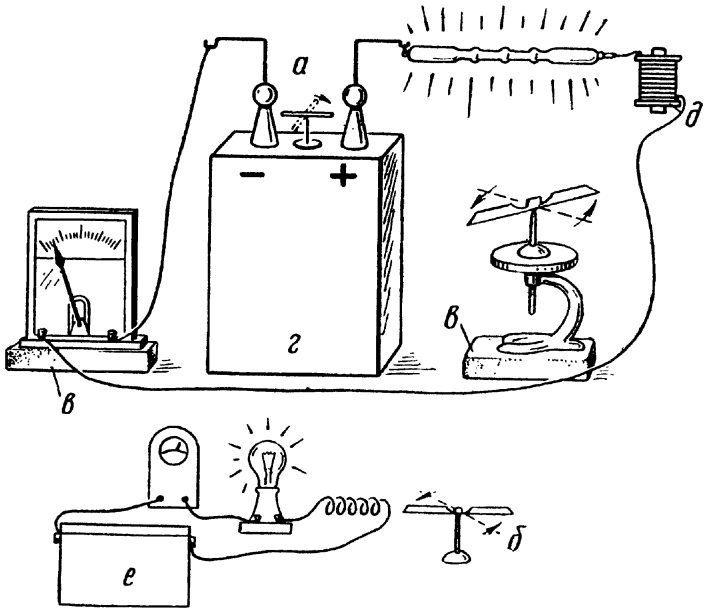

Рис. 53. Установка для наблюдения магнитного и электрического полей. Пунктиром показаны положения стрелок при выпрямителе:

а — бумажная стрелка; *б* — стальная магнитная стрелка; *в* — изоляционная подставка из церезина или парафина; *г* — высоковольтный выпрямитель; *д* — индукционная катушка; *е* — батарея аккумуляторов.

или мотоцикла, магнитная стрелка, диэлектрическая стрелка, подъемные столики, конденсатор 1000—10 000 *пф* на рабочее напряжение 5 *кв*, бруски церезина или парафина (можно заменить кусками стекла), батарея аккумуляторов, ключ, лампа на 12 *в* с патроном, кольцевой электромагнит.

Схема установки дана на рисунке 53, ключ на рисунке не показан.

Вначале демонстрируют цепь, питаемую батареей аккумуляторов. Обращают внимание учащихся на проявления тока. Вспоминают, что магнитное поле есть один из главных признаков наличия тока в цепи. Уточняется понятие магнитного поля. Уясняют возможность использования магнитной стрелки в качестве индикатора магнитного поля.

После этого демонстрируют диэлектрическую стрелку, подносят к ней магнит и делают вывод, что она не может служить для обнаружения магнитного поля.

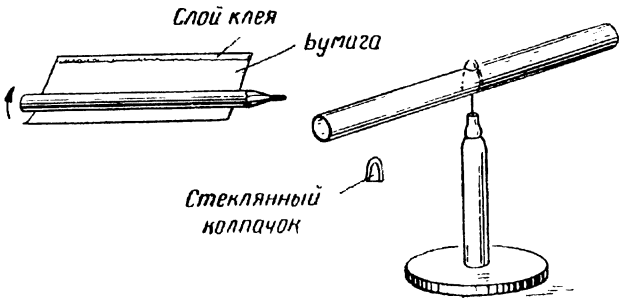

Рис. 54. Устройство бумажной стрелки.

Ставят диэлектрическую стрелку на корпус выпрямителя между его электродами, расположив ось стрелки перпендикулярно линии, соединяющей электроды. Обращают внимание учащихся на положение магнитной и диэлектрической стрелок. Включают высоковольтный выпрямитель и наблюдают поворот магнитной и диэлектрической стрелок, свечение трубки, отклонение стрелки прибора. Повторяют опыт, отсоединив цепь от электродов выпрямителя. Делают вывод, что для возникновения тока в цепи и магнитного поля необходим источник тока.

Диэлектрическую стрелку необходимо изготовить самим. Из писчей бумаги свертывают и склеивают трубочку диаметром 10 *мм*, длиной 100 *мм*. В середину трубочки вклеен стеклянный колпачок, позволяющий поместить трубочку на острие (рис. 54). Концы трубочки надо окрасить в разные цвета, но не такие, как у магнитной стрелки (например, желтый и фиолетовый). Когда краска высохнет, уравновешивают трубочку на острие, подрезав более тяжелый конец. Чем легче будет трубочка, тем она будет чувствительнее к присутствию поля.

Может оказаться, что напряжение будет мало для поворота стрелки. Тогда нужно включить последовательно две гейслеровые трубки. Напряжение возрастает вдвое, а сила, действующая на стрелку, в 4 раза.

2. Электризация прикосновением. Электрический заряд

Оборудование: высоковольтный выпрямитель, диэлектрическая стрелка, подъемный столик, реостат, шаровой кондуктор на изолирующей ножке.

Расположение приборов показано на рисунке 55. Заставляют стрелку слегка вращаться, что позволяет с большей наглядностью убедиться в отсутствии воздействия на стрелку.

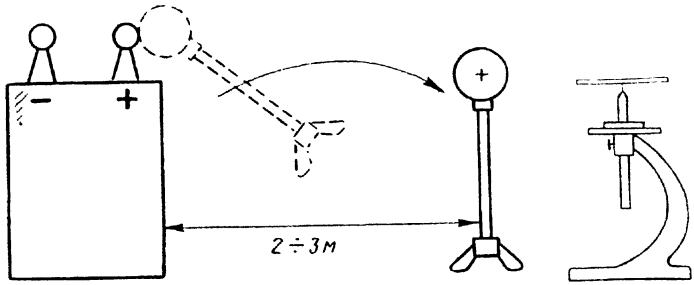

Рис. 55. Установка для демонстрации электрического поля вокруг проводника, наэлектризованного прикосновением.

Берут шаровой кондуктор за изолирующую ножку, шаром касаются одного из электродов высоковольтного выпрямителя и вновь ставят на место. Вращение стрелки прекращается и один конец стрелки притягивается к шару. Переносим кондуктор и стрелку на новое место. Стрелка вновь установится в определенном положении, один конец ее будет притягиваться к кондуктору.

Коснемся шара рукой — воздействие на стрелку исчезает. Повторяем весь опыт снова, меняя расположение кондуктора и стрелки. Делаем вывод, что шар окружен электрическим полем. Отмечаем, что после прикосновения рукой к шару электрическое поле уже не обнаруживается. Значит, не сам шар, а нечто полученное шаром с электрода выпрямителя и исчезнувшее при прикосновении рукой, создает электрическое поле. Таким образом, учащиеся приходят к понятию об электрическом заряде и знакомятся с электризацией. После этого опыта уместно обобщение о неразрывной связи электрического поля и электрического заряда. Если позволяет время, полезно продемонстрировать перенос заряда с электрода выпрямителя на шар с помощью другого шара.

Опыт удается только в том случае, если ножка, на которой удерживается шар, будет сделана из органического стекла, воска или парафина.

3. Взаимодействие зарядов. Два рода электричества

Оборудование: высоковольтный выпрямитель, реостат, шарик диаметром 10 *мм* на изолирующей ручке, шарик из сердцевины подсолнуха на проволочке, крючок на изолирующей ножке, шаровой кондуктор.

1-й вариант. Подвешивают шарик (из сердцевины подсолнуха) на крючок и заряжают его с помощью шарика на изолирующей ручке. Заряжают прикосновением к тому же электроду

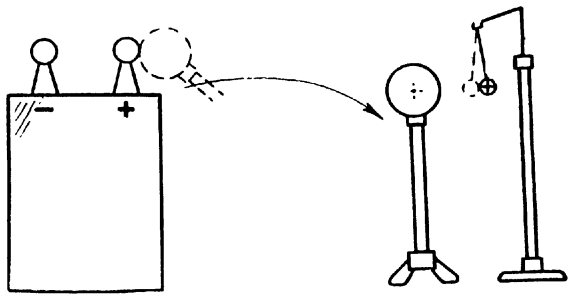

Рис. 56. Установка для наблюдения взаимодействия между заряженными телами.

выпрямителя шаровой кондуктор и ставят его вблизи шарика, подвешенного на крючке. Подвешенный шарик отталкивается (рис. 56). Кондуктор ставят так, чтобы угол отклонения составил около 30°. Увеличивают заряд подвешенного шарика, перенося на него дополнительный заряд с электрода. Отклонение увеличивается. Заключаем, что электрическое поле заряда шара кондуктора отталкивает заряд легкого шарика, а вместе с ним и сам шарик.

Разрядив шары, проделывают опыт вторично, беря заряды с другого электрода выпрямителя. Шарик по-прежнему отталкивается.

Затем электризуем шарик, сделанный из сердцевины подсолнуха, от одного электрода выпрямителя, а шар кондуктора от другого электрода выпрямителя. Легкий шарик притягивается.

Из опыта вытекает общеизвестный закон взаимодействия зарядов.

2-й вариант. Подвешивают два легких шарика, сделанные из сердцевины подсолнуха, на крючок, поставленный непосредственно на электрод выпрямителя, а потом переносят их на другой электрод. В обоих случаях шарики отталкиваются (рис. 57). Затем подвешивают по одному шарику на каждый из электродов. Шарики притягиваются, между ними возникает искровой разряд, и они расходятся. Тотчас снова притягиваются и т. д.

В дальнейшем при работе с выпрямителем на одном из электродов оставляют на крючке два шарика. По их положению учащиеся могут судить о наличии или отсутствии заряда на электродах.

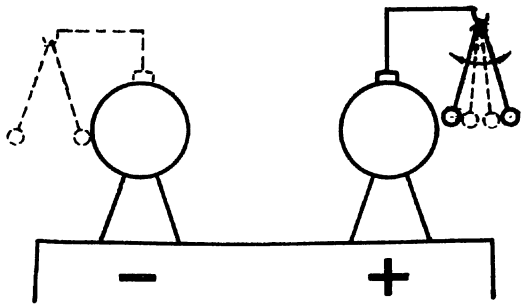

Рис. 57. Тела, заряженные одноименными зарядами, отталкиваются.

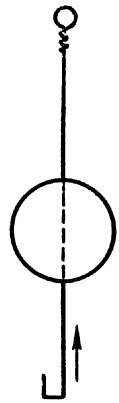

Рис. 58. Укрепление шарика на проволоке.

Для изготовления шариков рекомендуем выбрать на огороде с осени большой подсолнух и оставить его в земле на зиму. Перед весенними оттепелями его срезают, вынимают сердцевину, бритвой режут на куски, сушат и используют для изготовления шариков. Диаметр шариков должен быть не более 10 *мм*. Обработку производят стеклянной шкуркой, накленной на линейку. Готовый шарик прокалывают медной проволокой через центр, на выступившем конце проволоки делают крючок и втягивают проволоку обратно (рис. 58). На другом конце проволоки, на расстоянии 100 *мм* от шарика, делают петлю. Избыток проволоки отрезают. Рекомендуемая толщина проволоки 0,2—0,5 *мм*.

Крючки на электродах выпрямителя надо ставить на все время работы выпрямителя. Их нужно изготовить из толстой полированной проволоки и впаять в одиночный штепсель. При замыканиях электрическая искра разрушает поверхность электродов. Вставив такие крючки в гнезда электродов (рис. 59), мы защи-

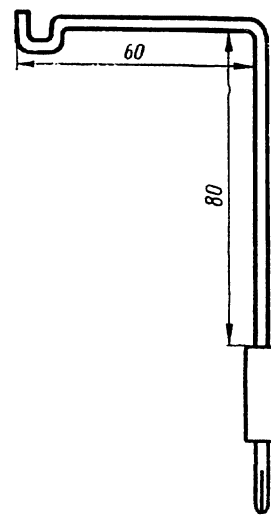

Рис. 59. Крючок на штепсельной вилке для высоковольтного выпрямителя.

тим металл электродов от разрушения электрической искрой. На такие крючки удобно подвешивать электрические маятники и другие приборы. При необходимости крючок вынимают и включают в гнездо провод со штепселем.

4. Электроскоп и электрометр

Оборудование: высоковольтный выпрямитель, реостат, электроскоп, электрометр с полым шаром, шарик на изолирующей ручке.

Электризуют шарик прикосновением к электроду высоковольтного выпрямителя и приближают его к шарику электроскопа. Листочки электроскопа расходятся. Убирают шарик — листочки сходятся. Прикасаются шариком к стержню электроскопа — листочки расходятся и остаются в этом положении при удалении шарика на изолирующей ручке.

Проделывают аналогичные наблюдения с электрометром, предварительно заземлив его корпус. На стержень электрометра надевают полый шар и шариком касаются каждый раз его внутренней поверхности.

Делается заключение, что электроскоп и электрометр позволяют обнаруживать электрическое поле и электризацию тел.

Опыты с электроскопом (и электрометром) иногда плохо удаются из-за плохой изоляции стержня. В качестве изолятора лучше использовать органическое стекло. В крайнем случае можно использовать парафин или воск, которые легко заменять по мере их загрязнения.

5. Нейтрализация разноименных электрических зарядов

Оборудование: высоковольтный выпрямитель, реостат, электроскоп или электрометр, подъемный столик, шарик на изолирующей ручке.

Переносят заряд с одного из электродов выпрямителя на шарик электроскопа. Проделывают это 4—5 раз. Листочки электроскопа (электрометра) расходятся с каждым разом все более и более.

Затем переносят заряды на шарик электроскопа с другого электрода выпрямителя. Листочки электроскопа все более и более спадают, и когда число переносов сравняется, заряд электроскопа окажется равным нулю. Следовательно, разноименные заряды складываются как положительные и отрицательные числа.

Чтобы разрядить электроскоп потребуется большее число переносов заряда другого знака, если проносить шарик с зарядом со второго электрода вблизи первого. В этом случае ионизированный воздух может уничтожить часть заряда на движущемся шарике. Необходимо предварительно потренироваться,

заметить с какого электрода выпрямителя лучше брать заряды, чтобы зарядить электроскоп, с какого — чтобы разрядить электроскоп. Электроскоп нельзя ставить близко к выпрямителю, надо опытным путем заранее определить его место, а впоследствии точно воспроизводить выбранное расположение приборов.

6. Электрический маятник

Оборудование: высоковольтный выпрямитель, реостат, крючок на изолирующей ручке, шарик, сделанный из сердцевины подсолнуха, на длинной нити (300—500 *мм*), подъемный столик, шаровой кондуктор.

1-й вариант. Расположение приборов показано на рисунке 60. Шар заземляют. При включении высоковольтного выпрямителя шарик совершает колебания от электрода выпрямителя к заземленному шару кондуктора.

2-й вариант. Шарик подвешивают так, чтобы он находился посередине между электродами.

Опыт рекомендуется для самостоятельного объяснения его учащимися при закреплении темы. Он дает им возможность применить знания к объяснению нового явления и логически обосновать его.

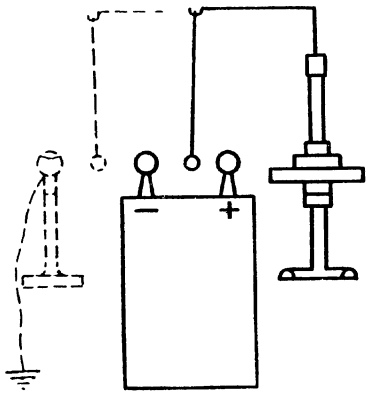

Рис. 60. Расположение приборов для демонстрации электрического маятника.

7. Закон Кулона

Оборудование: высоковольтный выпрямитель, реостат, уравновешенный маятник, два шарика: на изолирующей ручке, на изолирующей ножке (диаметры шариков должны быть равны между собой и должны равняться диаметру шарика уравновешенного маятника), штатив, шкала с делениями.

Шар на изолирующей ножке заряжают от электрода выпрямителя и ставят на стол вблизи шарика уравновешенного маятника, который притянется к заряженному шару и коснется его. После прикосновения у шаров будут одинаковые заряды, так как величина заряда зависит от размера шаров. Маятник поднимают (или опускают) так, чтобы прямая, проходящая через центры шаров, была горизонтальна. В этом случае по шкале можно сразу прочесть величину силы. Для определения расстояния между шарами пользуются теневой проекцией, установив источник света так, чтобы тени были хорошо видны всем учащимся (рис. 61). Затемнения не требуется. Расстояние выбирают таким,

чтобы оно соответствовало силе в 400 *дн*. Уменьшают один из зарядов в два раза, коснувшись его разряженным шариком на ручке,— сила убывает в два раза (надо заново регулировать положение маятника по горизонтали и вертикали). Уменьшают второй заряд в два раза (тем же приемом), сила убывает тоже в два раза. Сдвигаем шары, чтобы сила отталкивания стала равна вновь 0,8 *P*, и убеждаемся, что расстояние уменьшилось в два раза. Делаем заключение о характере зависимости, установленной на опыте.

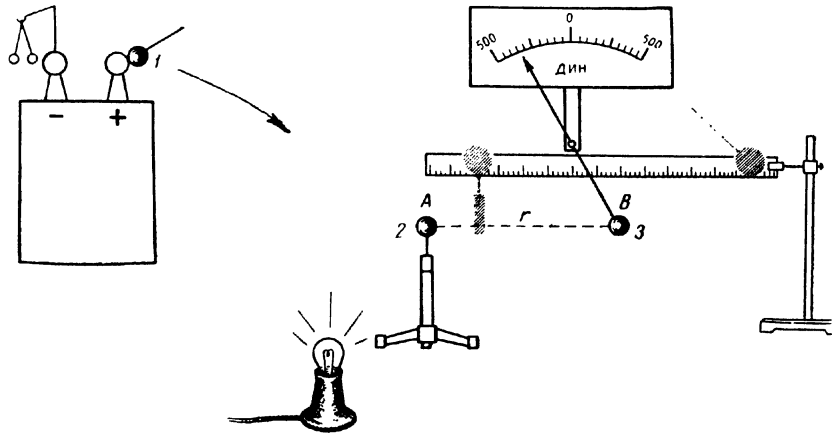

Рис. 61. Установка для измерения силы взаимодействия между зарядами. Диаметры *1, 2* и *3* шаров должны быть одинаковы. Расстояния между центрами шаров определяются по расстоянию между центрами теней от шаров. Прямая, проходящая через центры *2* и *3* шаров, должна быть горизонтальна.

Производить опыт лучше в этом порядке. Если вы сначала уменьшите расстояние в два раза (а это нельзя сделать точно), то ошибка в определении силы окажется вдвое большей. При рекомендуемой последовательности опыта ошибка мало заметна.

Примечание: Уравновешенный маятник нужно изготовить самим. Шарик из сердцевины подсолнуха должен иметь диаметр 20—30 *мм*. Чтобы он был легче, готовый шар разрезают бритвой на две части и осторожно удаляют сердцевину, насколько это удается без повреждения поверхности, а затем склеивают половинки шара. Разогревают тонкую стеклянную трубочку и растягивают ее так, чтобы наружный диаметр был 2 *мм*. Длина требующейся трубки — 300 *мм*. На одном конце трубочки укрепляют небольшим количеством шеллачного лака или силикатного клея шарик из подсолнуха, на другом — указатель. На расстоянии 150 *мм* от шарика укрепляют менделеевской замазкой, сургучом или тонким резиновым колечком стеклянную трубочку длиной 15 *мм* и внутренним диаметром чуть больше диаметра

булавки. Собранный маятник показан на рисунке 62. Стеклянную трубочку покрывают тонким слоем шеллачного лака.

Шкала градуируется так, чтобы ее деления соответствовали значениям горизонтальной составляющей силы тяжести, приложенной к центру шарика. Если сила тяжести, приложенная в точке B (рис. 61), есть P, то горизонтальная составляющая этой силы — P_2 — будет $P\mathrm{tg}\alpha$, где α — угол отклонения маятника от вертикали. Нетрудно видеть, что при вертикальном положении маятника $P_2 = 0$.

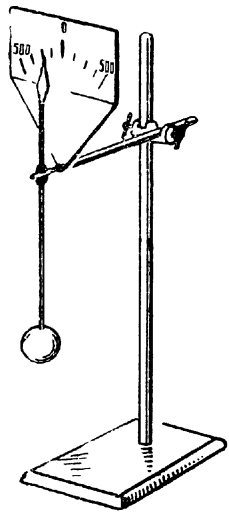

Рис. 62. Уравновешенный маятник.

Если максимальное отклонение будет соответствовать углу $\alpha = 45°$, то P_2 для этого положения будет равно P. Из условия $P_2 = P\mathrm{tg}\alpha$ легко найти углы, соответствующие значениям горизонтальной составляющей в $0{,}1P$; $0{,}2\ P$;... $0{,}9P$; P:

P_2	α	P_2 (дин)
0	0	0
0,1P	5°50′	50
0,2P	11°20′	100
0,3P	16°40′	150
0,4P	21°50′	200
0,5P	26°30′	250
0,6P	31°00′	300
0,7P	35°00′	350
0,8P	38°40′	400
0,9P	42°00′	450
P	45°00′	500

Вес P удобно взять равным 510 *мг*, или 500 *дн*. Достигается нужное значение P путем уравновешивания маятника. Для этого маятник устанавливают в горизонтальном положении. Шарик кладут на одну чашку весов, на другую чашку весов кладут разновесы (510 *мг*) (рис. 63). На обратную сторону указателя до-

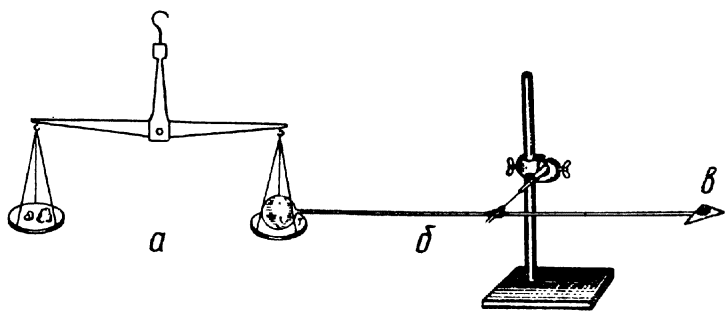

Рис. 63. Уравновешивание маятника:

а — весы; *б* — маятник; *в* — капля канифоли. Для уравновешивания маятника на указатель добавляют с помощью паяльника канифоль. При уравновешивании маятника надо следить, чтобы стеклянная трубочка, соединяющая шар с указателем, была расположена горизонтально.

бавляют воск, пока весы не придут в равновесие. Нужно стремиться к тому, чтобы общий вес маятника не превышал 5 *г*.

Хранят маятник в разобранном виде. После сборки подшипник смазывают одной каплей легкого масла. Укрепляют маятник на штативе.

8. Измерение напряженности электрического поля

Оборудование: высоковольтный выпрямитель, реостат, шар на изолирующем штативе, уравновешенный маятник.

Сообщают заряд шару на изолирующем штативе и делят его между уравновешенным маятником и шаром. Измерив расстояние между центрами шаров, находят заряд на шарике маятника. После этого он годен для измерения E, так как

$$E = \frac{f}{q}.$$

Силу, действующую на шарик, в горизонтальном направлении отсчитываем по шкале.

Заряд, конечно, будет стекать. Но из стабильности напряжения в сети следует, что и на электродах выпрямителя напряжение стабильно, поэтому, сообщая маятнику заряд посредством одного и того же шара, будем и на шарике маятника всегда иметь одинаковый по величине заряд, при каждом его возобновлении для нового опыта.

9. Проводники и непроводники электричества

Оборудование: высоковольтный выпрямитель, реостат, металлический шар на изолирующей ножке, подъемный столик, диэлектрическая стрелка, разрядник, палочка из парафинированного дерева.

Соединяем разрядником шар с электродом выпрямителя деревянной палочкой, электризации не возникает. Электризуем шар, соединив его с электродом высоковольтного выпрямителя разрядником, а затем соединяем неэлектризованный шар диэлектриком с заземленным предметом — электризация остается неизменной. Соединяем шар и заземленный предмет разрядником — электризация исчезает. Делаем вывод, что электрические заряды могут переходить с одного тела на другое через металлы.

Опыт можно продолжить, заготовив предварительно несколько палочек из различных материалов. Длина их должна быть большой, сечение — малым. Опыт позволяет попутно объяснить название «разрядник».

10. Электростатическая индукция

Оборудование: высоковольтный выпрямитель, реостат, шарики на электродном крючке, раздвижной конденсатор, два шарика на изолирующей ручке, электрометр с полым шаром на стержне.

Конденсатор или два металлических шара на изолирующих ножках устанавливают на значительном удалении от выпрямителя, пластины (или шары) соединяют с электродами выпрямителя и раздвигают примерно на 200—250 *мм*. Электрометр ставят на другой конец стола и разряжают прикосновением. Шарики берут в одну руку так, чтобы они соприкасались, разряжают прикосновением и вносят между пластинами конденсатора или шарами. Находящиеся в электрическом поле шарики разъединяют, а потом выносят из электрического поля (рис. 64 А). Передают заряд одного из шариков электрометру и наблюдают отклонение стрелки. Передают электрометру заряд второго шарика — стрелка электрометра возвращается на нуль. Опыт производит большее впечатление, если шарики опускать в полость шара электрометра и оставлять там (рис. 64 Б). Выводы: в металлах имеются заряды обоих знаков. Под действием электрического поля заряды перемещаются. При этом происходит разделение зарядов противоположных знаков. В связи с этим возникают следующие гипотезы: движется одно отрицательное электричество; движется одно положительное электриче-

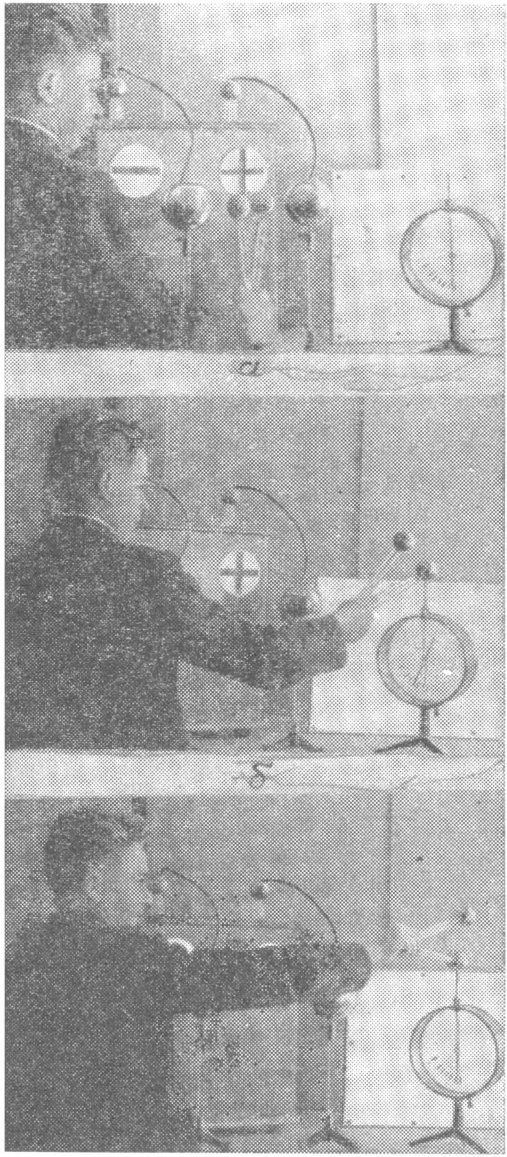

Рис. 64 А. Наблюдение электростатической индукции:

а — два металлических шарика, находящиеся в электрическом поле, разъединяют; *б* — электрометр показывает наличие заряда на одном из шариков; *в* — электрометр показывает, что на втором шарике был равный и противоположный заряд.

ство. Движется и положительное и отрицательное электричество, но в противоположных направлениях.

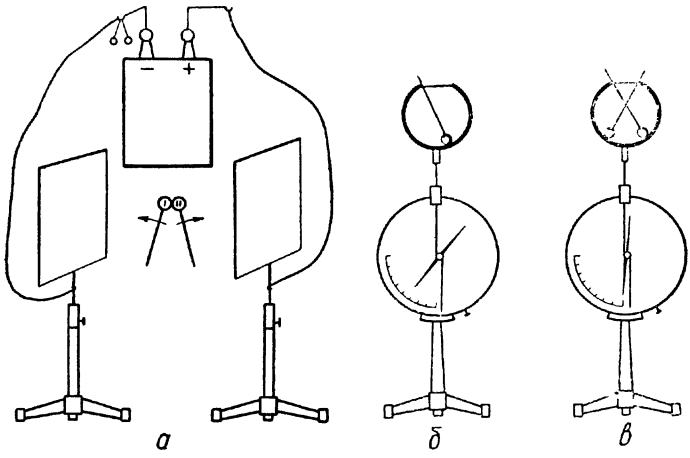

Рис. 64 Б. Установка для наблюдения электростатической индукции:

а — два металлических шарика, внесенные в электрическое поле между пластинами конденсатора, разъединяют; *б* — электрометр показывает наличие заряда на одном из шариков, опущенного в полость шара электрометра; *в* — электрометр показывает, что на втором шарике был равный и противоположный заряд.

11. Термоэлектронная эмиссия

Оборудование: высоковольтный выпрямитель с шариком на крючке, реостат, школьный демонстрационный гальванометр, рентгеновская трубка, батарея аккумуляторов и реостат, соединительные провода, штатив, бруски парафина (или воска).

Схема соединений и расположение приборов показаны на рисунке 65. При холодном катоде убеждаются, что тока в цепи выпрямителя нет. О наличии напряжения на электродах выпрямителя судят по расхождению шариков. Изменяют направление тока в цепи выпрямителя и вновь убеждаются в отсутствии тока. Делают вывод: электрические заряды, свободно передвигающиеся внутри металла, выйти из электрода и пройти в вакууме промежуток между электродами рентгеновской трубки не могут.

Замыкают цепь накала рентгеновской трубки и движком реостата устанавливают такой ток, чтобы катод был раскален до вишнево-красного свечения. Включают высоковольтный выпрямитель и отмечают наличие тока, когда катод соединен с отрицательным полюсом высоковольтного выпрямителя, и отсутствие тока при изменении полярности.

Из всех четырех опытов следуют два вывода: 1) высокая температура электрода облегчает выход электрических зарядов

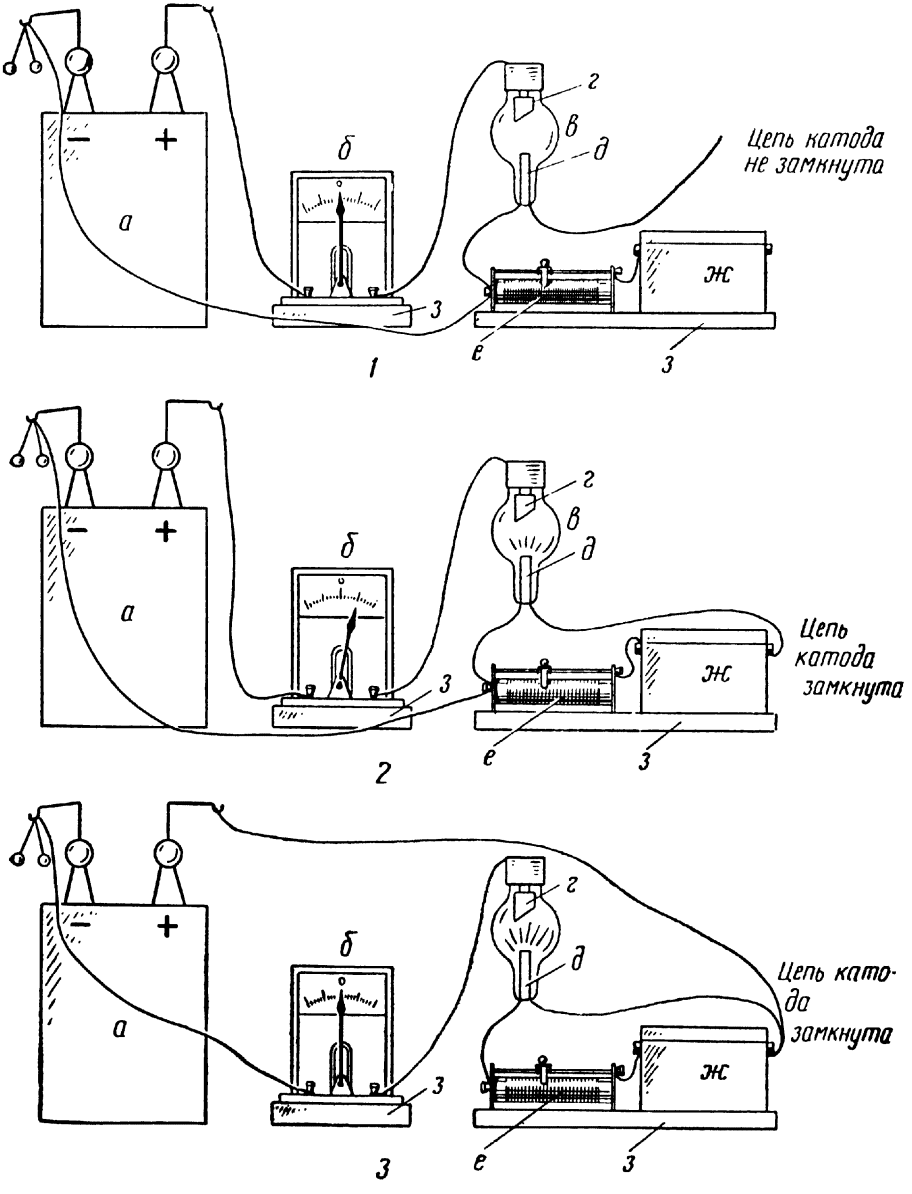

Рис. 65. Установка для наблюдения термоэлектронной эмиссии:

а — высоковольтный выпрямитель; *б* — демонстрационный гальванометр; *в* — трубка рентгена; *г* — анод; *д* — катод; *е* — реостат; *ж* — батарея аккумуляторов; *з* — изоляционная подставка из парафина или церезина.

1. Катод холодный — тока нет, потенциал есть, так как шарики на электродах выпрямителя разошлись. *2.* Катод горячий, через трубку проходит ток. *3.* Катод горячий, но ток через трубку не проходит, так как на анод подан отрицательный потенциал.

в вакуум; 2) в металле свободно передвигаются отрицательные заряды.

Таким образом, этот опыт служит для решения вопроса о знаке подвижных зарядов внутри металла, существование которых установлено ранее. Из этого опыта нельзя делать вывод, что внутри металла движутся электроны: для этого нет фактического материала. Поэтому, будет преждевременным на этой стадии применение термина «термоэлектронная эмиссия».

12. Наблюдение катодных лучей в трубке со звездой

Оборудование: высоковольтный выпрямитель, реостат, трубка со звездой на деревянном штативе, два соединительных провода, подъемный столик, магнит. Опыт наблюдается в хорошо затемненной аудитории.

Трубку со звездой ставят на подъемный столик, присоединяют нижний электрод (стержень) к аноду выпрямителя, а диск — к катоду. Включают выпрямитель и наблюдают на заднем стекле тень звезды. Следует обратить внимание на размеры звезды и ее тени. Через некоторое время роняют звезду и наблюдают свечение тех частей стенки, которые раньше были темными. Подносят магнит и наблюдают перемещение области свечения.

Переключают электроды — тень исчезает. После ряда частных выводов — имеются лучи, исходящие из катода, они распространяются прямолинейно, поглощаются алюминием, несут электрический заряд — необходимо обобщение: катодные лучи есть то отрицательное электричество, которое наблюдалось в опыте с рентгеновской трубкой. Нужно обратить внимание учащихся на свечение у анода, которого в рентгеновской трубке не было, так как там был очень высокий вакуум. В трубке же со звездой есть разреженный газ, положительные ионы которого устремляются к катоду и при ударе выбивают электроны из вещества катода, что и обеспечивает испускание катодом отрицательного электричества.

При включении трубки нужно следить за тем, чтобы ее не перегрузить и в то же время получить яркое свечение стекла. Определив однажды режим работы, его следует записать и хранить вместе с трубкой. Признаками перегрузки являются потрескивания, разряды на поверхности стекла, разогрев электродов (в особенности анода).

13. Наблюдение катодных лучей в трубке с мельницей

Оборудование: высоковольтный выпрямитель с реостатом, трубка с мельницей на деревянном штативе, соединительные провода, магнит, столик.

Устанавливают трубку с мельницей на столик, соединяют верхний электрод с катодом, нижний — с анодом выпрямителя и

включают выпрямитель. Наблюдают вращение крыльев мельницы, флюоресценцию солей на крыльях, отклонение катодных лучей магнитным полем и свечение газа у анода. Делают вывод: поток отрицательного электричества имеет массу и несет с собой энергию. Естественно предположить поэтому, что отрицательное электричество переносится мельчайшими частицами. Опыт можно наблюдать и при дневном свете, однако в темноте он значительно эффектнее.

Как и для трубки со звездой необходимо предварительно определить режим работы и записать необходимые данные в паспорт. Для опыта трубку устанавливают строго вертикально. Когда по ходу опыта мельницу надо остановить, трубку наклоняют.

14. Наблюдение катодных лучей в трубке со щелью

Оборудование: высоковольтный выпрямитель, реостат, трубка со щелью на деревянной подставке, соединительные провода, магнит, подъемный столик.

Устанавливают трубку со щелью на подъемном столике и включают выпрямитель. Наблюдается отклонение катодного луча под действием магнитного поля. Отмечают, что при отклонении веер «струи» не становится шире, а это означает, что все частицы, образующие такую струю, отклоняются одинаково, но так как отклонение «струи» должно зависеть от масс частиц, от величины их зарядов и скорости движения, то можно заключить, что все частицы «струи» отрицательного электричества, по-видимому, имеют одинаковый заряд, одинаковую массу и одинаковую скорость.

Перед опытом необходимо определить рабочий режим трубки.

Описанные опыты позволяют ввести понятие об электроне. Следует завершить эти опыты демонстрацией электронно-лучевой трубки. Мы не описываем этот опыт здесь, так как для его осуществления высоковольтный выпрямитель не требуется.

15. Распределение зарядов на поверхности проводника

Оборудование: высоковольтный выпрямитель с реостатом, электрометр с большим полым шаром, шарик на изолирующей ручке, сетка Кольбе, проводник, подъемные столики.

1-й вариант. Полый шар устанавливают на стержень электрометра; корпус электрометра заземляют. Сообщают электрометру заряд, замечают отклонение стрелки. Касаются шариком на изолирующей ручке наружной поверхности полого шара на элек-

трометре, а затем полученный шаром заряд снимают, коснувшись заземленного корпуса электрометра. Повторяют так несколько раз, ведя вслух счет прикосновениям, пока стрелка электрометра не покажет, что он разряжен. Проделывают снова все описанное, но касаются шариком внутренней стороны полого шара. Заряд электрометра не убывает. Делается вывод, что электрический заряд сосредоточен на поверхности тела.

2-й вариант. Ставят сетку Кольбе на подъемный столик, придав ей форму цилиндра, и соединяют ее с электродом высоковольтного выпрямителя. Наблюдают расхождение листочков, приклеенных к сетке с внутренней и наружной стороны. Отмечают, что заряды сосредоточены преимущественно на наружной поверхности. Внутреннюю сторону сетки делают наружной и отмечают, что заряды перешли на наружную сторону. Опыт подтверждает предыдущий вывод. Ставить его первым нельзя, так как благодаря не полной замкнутости поверхности сетки заряды отчетливо наблюдаются и на внутренней поверхности, что мешает сделать нужный вывод.

Следует разъяснить, что сделанное наблюдение показывает способ полной передачи заряда одного тела другому, для чего первое тело надо поместить внутрь второго и соединить с ним.

16. Распределение зарядов на поверхности тела неправильной формы

Оборудование: высоковольтный выпрямитель, реостат, тело специальной формы на изолирующей ножке, электрометр с полым шаром на стержне, шарик на изолирующей ручке, подъемный столик.

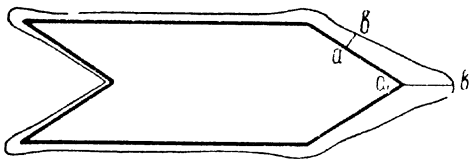

Рис. 66. Графическое изображение распределения зарядов по поверхности проводника. Мерой плотности заряда служит отрезок нормали к поверхности в данной точке.

Тело на изолирующей ножке ставят на столик, соединяют с электродом высоковольтного выпрямителя. Переносят шариком с различных точек тела одинаковое число зарядов (например, пять раз) на электрометр. При касании слегка ударяют шариком по поверхности тела и шара электрометром, чтобы был отчетливо слышен звук удара. Наблюдают отклонение стрелки на различные углы, в зависимости от того, с какой точки тела взят заряд. Выделяют точку, которая не дает никакого отклонения стрелки электрометра. Предлагают учащимся изобразить графически распределение электрических зарядов на поверхности тела (рис. 66).

17. Стекание электрических зарядов с острия

Оборудование: высоковольтный выпрямитель с реостатом, острие на изолирующей ножке, электрометр с полым малым шаром, подъемный столик, свеча, штатив, проводники.

Ставят острие на подъемный столик и соединяют с одним из электродов высоковольтного выпрямителя. Зажимают свечу в лапку и зажигают ее. Включают высоковольтный выпрямитель и пододвигают свечу к острию. Наблюдают сначала отклонение пламени. При дальнейшем приближении к острию свеча гаснет. Проделывают этот же опыт, присоединив острие к другому электроду выпрямителя.

Приближают шарик к острию, но не касаются его. Переносят шарик во внутрь шара на электрометре и наблюдают отклонение стрелки.

Делают вывод о «стекании» электрических зарядов с острия, подробно разбирают происхождение «электрического ветра». Отмечают, что с положительного электрода этот ветер сильнее.

18. Связь между потенциалом, зарядом и емкостью проводника

Оборудование: высоковольтный выпрямитель, реостат, электрометр, большой и малый шары к нему, шарик на изолирующей ручке.

Ставим на электрометр (с заземленным корпусом) большой шар, включаем высоковольтный выпрямитель и пять раз переносим шариком заряд с электрода выпрямителя на электрометр. Из соображений симметрии и стационарности состояния на электродах выпрямителя (это показывают шарики на одном из электродов выпрямителя) ясно, что шар электрометра получает каждый раз один и тот же заряд. Мы наблюдаем увеличение потенциала, пропорциональное увеличению заряда. Записываем это. Сменим шар на электрометре на меньший. Проделав вновь прежний опыт, увидим, что потенциал по-прежнему пропорционален заряду, но выше, чем ранее. Опыт позволяет ввести понятие об электроемкости проводника.

НАБЛЮДЕНИЕ ТОКОВ В ГАЗЕ И ВАКУУМЕ С ПОМОЩЬЮ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

19. Коронный разряд

Оборудование: высоковольтный выпрямитель, реостат, острия на стойках раздвижного конденсатора, проводники.

Соединяют острия с полюсами высоковольтного выпрямителя и раздвигают их на расстояние около 100 *мм*. Включают выпрямитель и наблюдают коронный разряд. Свечение короны слабое, и наблюдать ее отчетливо можно только в хорошо затемненной

комнате. Для наблюдения короны учащихся размещают на расстоянии 1,5—2 *м* от демонстрационного стола небольшими группами (по 5 человек). Отмечают разницу в характере формы и цвета разряда на положительном и отрицательном электродах, а также характерный звук, сопровождающий коронный разряд.

Коронный разряд можно наблюдать также между двумя параллельно натянутыми тонкими проволочками ϕ 0,1—0,15 *мм*.

20. Принцип работы электрофильтра

Оборудование: высоковольтный выпрямитель, реостат, стеклянная труба ϕ около 50 *мм* и длиной около 600 *мм*, дымарь, провода, штатив.

Стеклянную трубку зажимают вертикально в штативе и натягивают вдоль ее оси два провода диаметром 0,1 *мм* на расстоя-

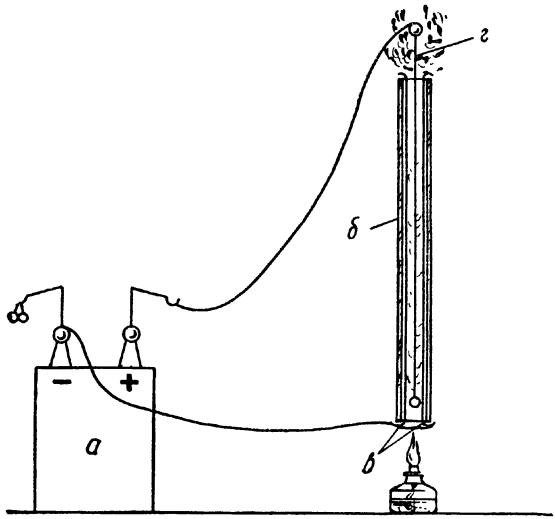

Рис. 67. Установка для демонстрации принципа работы электрофильтра:
а — выпрямитель; *б* — стенки стеклянной трубочки (в разрезе); *в* — два медных провода, соединенные с выпрямителем; *г* — медный провод, соединенный с электродом выпрямителя, натягивается небольшим грузом.

нии 50 *мм* друг от друга. Может быть использован и эмалированный провод. Провода присоединяют к электродам выпрямителя. Подбирают такой реостат, чтобы при работе выпрямителя не возникало искровых разрядов (на рисунке реостат и выключатель не показаны).

Под трубкой ставят и зажигают спиртовку, наполненную скипидаром, и наблюдают дым, выходящий из верхнего конца трубки (рис. 67). Включают высоковольтный выпрямитель — дым исчезает.

21. Кистевой разряд

Оборудование: высоковольтный выпрямитель, реостат, острия на стойках раздвижного конденсатора, проводники.

Для наблюдения кистевого разряда нужно сблизить острия, начав с расстояния 60—80 *мм*. При этом положительная корона развивается все более и переходит в кистевой разряд; наблюдатель может отметить ряд неярких, слабо изломанных искр, идущих от острия. Все они имеют одинаковую длину, и разряд напоминает кисточку для акварельных красок.

22. Искровой разряд

Оборудование то же, что и в предыдущем опыте.

Если чуть сблизить острия, установленные для наблюдения кистевого разряда, то можно видеть, что отдельные искры из кисти достигают области отрицательной короны и ослепительно вспыхивают. Закрыв искру со стороны учащихся небольшой ширмой, наблюдают в ее свете какой-либо быстро вращающийся предмет (например, вращающуюся вокруг горизонтальной оси палочку). Затем этот же предмет наблюдают при дневном освещении (или при свете лампы накаливания). Отмечают бо́льшую яркость искры по сравнению с яркостью других источников света и ее кратковременность.

Заменяют один из остриев диском. Отмечают изменение длины искры, легкость возникновения искры при различной полярности электродов.

Присоединив к искровому промежутку конденсатор ($U_{раб.} = 40$ *кв*), наблюдают уменьшение частоты следования искр и увеличение мощности разряда. С установкой в этом последнем случае надо обращаться с повышенной осторожностью, так как конденсатор делает разряд опасным. Емкость конденсатора не должна превышать 1000—3000 *пф*.

23. Дуга

Оборудование то же, что и в предыдущих опытах, установка собирается такая же.

Сближают острия до получения искры. Продолжая дальнейшее сближение электродов, наблюдают увеличение частоты следования разрядов, пока разряд не станет непрерывным. При этом вместо тонкого ослепительного канала искры виден широкий мостик пламени, вытянутый в центре вверх.

Отмечают разогревание концов электродов. Опыт служит для установления связи между различными формами разряда. Для дальнейшего изучения дугового разряда необходимо обратиться к наблюдениям дуги при больших токах.

24. Возникновение газового разряда при уменьшении давления

Оборудование: высоковольтный выпрямитель с реостатом, провода, разрядная трубка, штатив, насос Комовского, манометр.

Электроды разрядной трубки, зажатой в лапке штатива, присоединяют к электродам выпрямителя. Трубку соединяют с насосом Комовского. Включают выпрямитель и убеждаются, что разряда нет. Начинают откачивать воздух из трубки. Когда давление в трубке станет 20—30 *мм* рт. ст., включают выпрямитель и наблюдают нитевидный разряд. За ручку насоса при включенном выпрямителе держаться нельзя, так как проводящий газ включит вас в цепь выпрямителя.

Отключив выпрямитель, продолжают откачку и наблюдают форму разряда при давлении 10 *мм* рт. ст., 1 *мм* рт. ст., а если удастся, то и при меньших давлениях. Если насос работает от электродвигателя, то включив выпрямитель при атмосферном давлении, можно его не выключать до конца опыта.

Наблюдая разряд, отмечают свечение и форму разряда у положительного и отрицательного электродов, цвет свечения, Фарадеево и Круксово темное пространство, флюоресценцию стекла у катода при наиболее низких давлениях.

Следует предварительно определить величину тока, допустимого для электродов трубки, и выбирать реостат в соответствии с найденным значением. При правильно выбранном режиме электроды, а особенно вводы и ножки, при работе должны оставаться холодными.

25. Свечение гейслеровых трубок

Оборудование: высоковольтный выпрямитель, реостат, гейслеровы трубки.

Для демонстрации работы гейслеровых или спектральных трубок последние подвешивают на крючки с помощью колечек, которые необходимо приделать к электродам каждой трубки. Если в кабинете есть затемнение, то лучше ограничиться небольшими токами от 0,3 *ма* до 1 *ма*, соответственно чему подобрать сопротивление. При первом включении надо наблюдать за электродами трубки, чтобы ее не перегрузить. Найденный режим необходимо записать на коробке, в которой хранятся трубочки.

26. Свечение перегоревших люминесцентных ламп

Оборудование: высоковольтный выпрямитель, реостат, штатив, провода, перегоревшая лампа дневного света.

Соединяют ножки лампы, находящиеся на одном конце трубки, вместе и присоединяют к одному электроду высоковольтного

выпрямителя, две другие ножки — к другому электроду. Включают высоковольтный выпрямитель и наблюдают свечение люминофора. В этом опыте в лампе возникает тлеющий разряд, тогда как в нормальных условиях разряд является дуговым.

27. Свечение рекламных трубок

Оборудование то же, что и в опыте 26.

Опыт ставится точно так же, как и с лампой дневного света, и служит для той же цели: ознакомление с практическим применением газового разряда и люминисценции.

28. Наблюдение свойств рентгеновских лучей

Оборудование: высоковольтный выпрямитель, реостат, рентгеновская трубка, школьный демонстрационный гальванометр, два штатива, батарея аккумуляторов 6 *в*, реостат на 5 *а*, восковая плита, готовальня, флюоресцирующий экран, подъемный столик, электрометр с большим шаром на стержне.

Первый опыт. Для демонстрации свойств рентгеновских лучей составим цепь из рентгеновской трубки с накаливаемым ка-

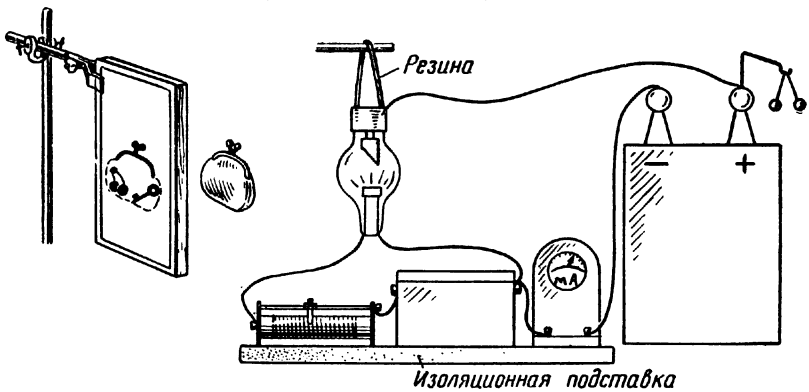

Рис. 68. Установка для наблюдения лучей Рентгена.

тодом школьного миллиамперметра (демонстрационного гальванометра) и высоковольтного выпрямителя в качестве источника тока. Для накала катода рентгеновской трубки необходима вспомогательная цепь из батареи аккумуляторов и реостата. Напряжение батареи аккумуляторов должно в два раза превышать напряжение, необходимое для накала катода, а реостат должен иметь такое сопротивление, чтобы ток через катод достигал паспортного значения, когда в цепь включена примерно одна треть реостата. Этот реостат позволит изменять величину тока через трубку и этим добиться нужного режима работы высоковольт-

ного выпрямителя. Рентгеновскую трубку хорошо обернуть черной бумагой, чтобы свечение катода не освещало аудитории.

Все эти приборы по отношению к земле будут иметь высокий потенциал, поэтому их размещают на кусках церезина или парафина (рис. 68).

Реостат в цепи накала катода рентгеновской трубки устанавливают так, чтобы катод имел темно-красный накал. На очень короткое время включают главный трансформатор и отмечают по миллиамперметру величину тока через рентгеновскую трубку. Нужно добиться, чтобы ток составлял от 0,2 до 0,5 *ма*.

Экран подвешивают на расстоянии 150—200 *мм* от трубки. Хорошим объектом для наблюдения проникающей способности рентгеновских лучей является готовальня.

Второй опыт. На пути рентгеновских лучей ставим электрометр и заряжаем его. Включаем высоковольтный выпрямитель и наблюдаем разряд электрометра. Разряд отрицательно заряженного электрометра обусловлен фотоэффектом, возникающим под действием рентгеновских лучей.

Но и в том случае, если рентгеновские лучи непосредственно на электрометр не падают, а заряд электрометра положителен, электрометр при работе рентгеновской трубки разряжается. Это объясняется наличием высокой ионизации воздуха.

29. Наблюдение рентгеновских лучей с помощью трубки со звездой

Оборудование: высоковольтный выпрямитель, реостат, трубка со звездой, экран, штатив.

При отсутствии в кабинете рентгеновской трубки можно демонстрировать рентгеновские лучи, пользуясь трубкой со звездой, как они в свое время были открыты. Для этого звезду надо опустить, чтобы пучок катодных лучей попадал на заднюю стенку трубки. Отсутствие фокусировки катодного пучка и металлического антикатода значительно снижают демонстрационные качества такой трубки. Но все же можно отчетливо наблюдать свечение экрана и силуэт трехкопеечной монеты, которую надо приклеить к экрану с обратной стороны и заклеить бумажкой. Экран ставится вплотную к задней стенке трубки, против наиболее ярко освещенного места стенки.

Трубку со звездой надо присоединить непосредственно к электродам выпрямителя, а в цепь первичной обмотки главного трансформатора включить очень большой реостат (более 1200 *ом*). Напряжение постепенно повышают, внимательно наблюдая за трубкой.

Обычно трубка выдерживает напряжение не больше 25 *кв*, но и этого напряжения оказывается достаточно, чтобы наблюдать свечение экрана под действием рентгеновских лучей. Помещение необходимо хорошо затемнить. При работе с рентгеновскими лу-

чами особое внимание следует обращать на выполнение правил безопасности. Учитель должен помнить о том, что вредное действие лучей суммируется, хотя бы они действовали небольшими порциями, но ежедневно.

30. Опыты с моделью генератора импульсов напряжения (ГИН) В. К. Аркадьева

Оборудование: высоковольтный выпрямитель с реостатом, модель ГИН В. К. Аркадьева, провода.

В 1914 г. В. К. Аркадьев предложил простой генератор для получения импульсов высокого напряжения. По его предложе-

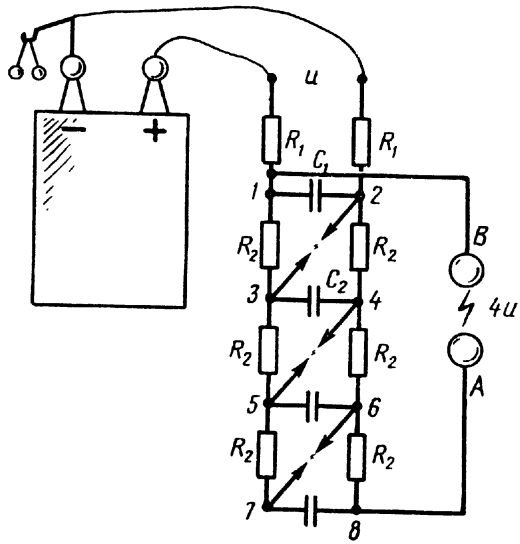

Рис. 69. Принципиальная схема генератора импульсов напряжения (ГИН) В. К. Аркадьева.

нию был построен «искровой конденсаторный трансформатор», получивший в печати того времени название «генератора молний».

В советской научной литературе он известен под названием генератора импульсов напряжения (ГИН).

Описание его можно найти в каждом руководстве по технике высоких напряжений.

Принципиальная схема генератора импульсов напряжения приведена на рисунке 69. При 10 конденсаторах может быть получено напряжение 150 *кв* (длина искры между остриями — 260 *мм*).

Конденсаторы укрепляют на стойке, как показано на рисунке 70. Вполне пригодны для этой цели конденсаторы емкостью 390 *пф*, рассчитанные на рабочее напряжение 15 *кв*, их нужно приобрести 10 штук. Стойка делается из дерева, проваренного в парафине, отшлифованного и покрытого лаком.

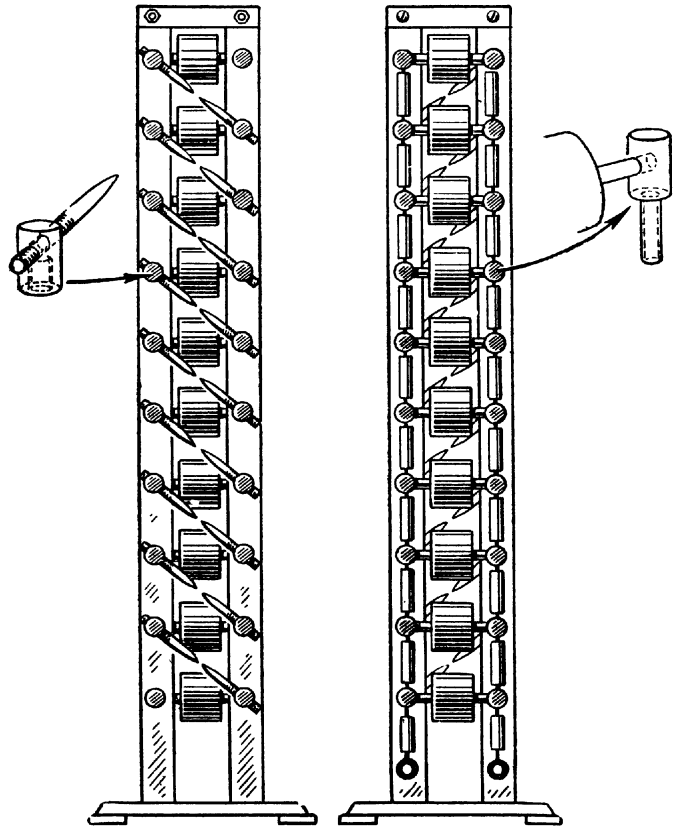

Рис. 70. Генератор импульсов напряжения.

Электроды конденсаторов соединяются сопротивлениями по 10—100 *мгом*, мощностью 2 *вт*. Входные сопротивления имеют величину в 10 раз бóльшую.

Выводы конденсаторов надо закончить шарами ϕ20—30 *мм*.

Темы для работ с ГИН можно найти в руководствах по технике высоких напряжений. Можно исследовать прочность различных материалов, получать клидонограммы (рис. 71), изучать способы защиты на макетах построек и т. п.

ОПЫТЫ С ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ТРУБКОЙ И ВЫПРЯМИТЕЛЕМ НА 300/1600 *в*

При работе с выпрямителем 300/1600 *в* необходимо придерживаться следующих правил.

1. Корпус выпрямителя при работе заземлять.

2. Все выключатели перед включением выпрямителя в сеть поставить в положение «отключено».

3. Присоединять выпрямитель к сети только с помощью исправного кабеля с вилкой и колодкой.

4. Присоединять приборы и устройства и производить всякие изменения в установке только при отключенном от сети выпрямителе.

5. Не перегружать выпрямитель.

6. При смене предохранителей не увеличивать толщину проволочки против указанной.

7. По окончании работы поставить все выключатели в положение «отключено», а затем разбирать установку.

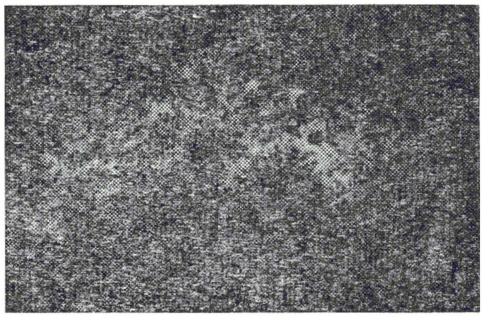

Рис. 71. Клидонограмма. Стеклянная пластинка была посыпана порошком из серы и сурика, на нее был подан положительный импульс. Излишек порошка стряхнули и использовали пластинку как негатив.

При работе с блоком электронно-лучевой трубки следует заботиться не только о безопасности оператора, но и о целости тиратрона и экрана электронно-лучевой трубки. Это приводит к усложнению правил. Приведем эти правила в той последовательности в какой их приходится выполнять.

1. Заземлять корпус выпрямителя 300/1600 *в* и блока электронно-лучевой трубки.

2. Поставить все выключатели в положение «Отключено», а ручку «Яркость» в положение, соответствующее минимальной яркости. Ручку «Амплитуда синхронизации» поставить на нуль.

3. Соединить блок электронно-лучевой трубки с выпрямителем, выпрямитель включить в сеть.

4. Включить в выпрямителе первичную обмотку силового трансформатора, а затем напряжение 300 *в*. Установить напряжение (по вольтметру) в 250 *в*. Включить высокое (1600 *в*) напряжение.

5. Не раньше, чем через 30 *сек*, включить анодное напряжение на анод тиратрона в генераторе напряжения развертки. Установить переключатель на нужный диапазон частот.

6. Установить необходимую яркость свечения.

7. Подать на входы исследуемые сигналы.

8. Ручкой «Частота плавно» подобрать необходимую частоту.

9. Ручку «Амплитуда синхронизации» повернуть не более, чем это необходимо для того, чтобы картина была неподвижной.

10. По окончании наблюдений все выключатели поставить в положение «Отключено», начав с выключателя анодного напряжения тиратрона, затем отключить выпрямитель от сети и разобрать установку.

11. Использовать соединительные провода, оборудованные вилками и имеющие необходимое защитное покрытие металла диэлектриком.

Блок электронно-лучевой трубки и питающий его выпрямитель 300/1600 *в* образуют электронный осциллограф. Эти два блока используются всегда вместе.

31. Отклонение электронного луча электрическим полем

Оборудование: высоковольтный выпрямитель с реостатом, выпрямитель 300/1600 *в*, блок электронно-лучевой трубки, шарик на изолирующей ручке.

Развертка в этом опыте не нужна, генератор напряжения развертки не включают. Чтобы сохранить экран трубки, яркость луча устанавливают небольшой и оставляют небольшую расфокусировку, чтобы светящееся пятно по размеру было больше. Ручки усиления *1* и *2* входа ставят на нуль. Касаются шариком одного из электродов высоковольтного выпрямителя и подносят к экрану электронно-лучевой трубки. Наблюдают смещение пятна (1—2 *см*). По направлению смещения определяют знак частиц в луче. Повторяют опыт, зарядив шарик от другого электрода высоковольтного выпрямителя. Следует иметь в виду, что при положительном заряде шарика поведение луча довольно сложно.

После обсуждения опыта показывают работу механизма смещения луча по осям *X* и *У* (если он имеется в блоке) и разъясняют его назначение.

32. Отклонение электронного луча магнитным полем

Оборудование: выпрямитель 300/1600 *в*, блок электронно-лучевой трубки, магнит.

Как и в предыдущем опыте, генератор напряжения развертки выключается, а пятно расфокусировывается. Ручки усиления 1 и 2 входа ставят на нуль, пятно делают по возможности бледнее.

Подносят сверху к середине блока прямой магнит так, чтобы его ось была вертикальна, и наблюдают смещение светяще-

гося пятна по горизонтали. Меняют полюса — направление смещения меняется. Затем магнит повертывают так, чтобы его ось была горизонтальна и перпендикулярна оси трубки. Тогда отклонение луча будет происходить по вертикали. (Опыт удается и в том случае, если корпус изготовлен из кровельного железа.)

После проведения опытов 14, 30, 31 и 32 надо рассказать, как была определена масса, заряд и скорость электронов.

33. Принцип работы электронного осциллографа

Оборудование: выпрямитель 300/1600 *в*, блок электронно-лучевой трубки, проводник с одиночными вилками на концах.

Первый опыт. Устанавливают минимальную скорость развертки (1—2 *гц*) и наблюдают движение луча. Плавно меняют частоту развертки, пока вместо пятна не будет видна сплошная линия. Выключают генератор развертки.

Второй опыт. Подают контрольный сигнал на один из входов. Электронный переключатель и генератор развертки должны быть выключены. Вращают ручку «Усиление», пока на экране не будет видна вертикальная линия длиной 40—50 *мм*.

Третий опыт. Не снимая напряжения сигнала, включают напряжение развертки и увеличивают частоту развертки, начиная с 1—2 *гц*, пока частота не будет 25 *гц*. Ручкой «Амплитуда синхронизации» добиваются неподвижности картины.

В заключение полезно ознакомить учащихся с механизмами осциллографа, показав их работу.

34. Измерение переменного напряжения и тока

Оборудование: выпрямитель 300/1600 *в*, блок электронно-лучевой трубки, реостаты (500 *ом* и 100 *ом*), лампа (100 *вт*, 220 *в*), соединительные провода.

Электронный осциллограф может быть использован для измерения напряжения и тока как переменного, так и постоянного.

а) Измерение переменного напряжения.

Измеряемое напряжение (оно не должно быть больше 300 *в*) подают на вход осциллографа. Генератор напряжения развертки и электронный переключатель не включают. Устанавливают ручку «Усиление» в такое положение, чтобы вертикальная светящаяся полоска, которую чертит луч, имела удобные для измерения размеры и измеряют ее длину. Вслед за этим на тот же вход подается известное напряжение (контрольного сигнала — 6,3 *в*, сети — 220 *в* или 120 *в* с гнезд на передней панели выпрямителя). Трогать ручку «Усиление» и изменять величину анодного напряжения нельзя, иначе результаты нельзя будет сопоставить. Измеряют новую длину светящейся полоски на экране под действием приложенного к входу известного напряжения.

Отношение напряжений будет равно отношению длин отрезков:

$$\frac{U_x}{U_{эт.}} = \frac{l_x}{l_{эт.}},$$

здесь U_x и $U_{эт.}$ — напряжения, а l_x и $l_{эт.}$ — длины отрезков, вычерченных лучом на экране.

Точность подобных измерений, однако, очень мала, и ошибка даже в лучшем случае составляет не менее 10%.

Достоинство осциллографа, как вольтметра, состоит в том, что режим цепи от присоединения осциллографа практически не меняется благодаря высокому входному сопротивлению.

Для более удобного измерения длин отрезков луча на стекле, защищающем трубку, можно нанести сетку со стороной квадрата 10 *мм* или закрыть половину экрана листком бумаги, с нанесенными на нем делениями.

б) Измерение тока.

Осциллограф не является амперметром и не может быть включен в цепь последовательно. Но если в цепь включить сопротивление известной величины, то с помощью осциллографа можно определить напряжение на его электродах и вычислить ток, протекающий по сопротивлению, на основании закона Ома для участка цепи:

$$I = \frac{U}{R}.$$

Вычисления упростятся, если взять сопротивление, равное 0,1; 1 или 10 *ом*.

Составьте цепь, как показано на рисунке 72. Определите напряжение, приложенное к лампе, как указано выше. В качестве

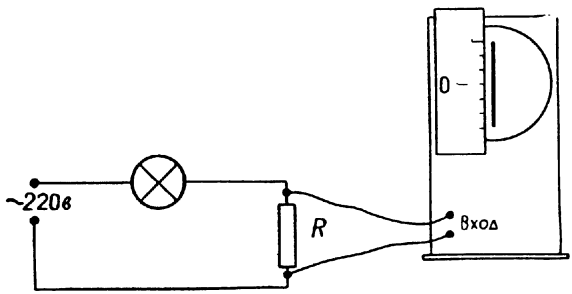

Рис. 72. Установка для измерения величины переменного тока с помощью осциллографа.

эталонных напряжений используйте напряжение сети (220 *в*) и напряжение контрольного сигнала (6,3 *в*).

Определив напряжение, приложенное к лампе, легко вычислить напряжение на концах включенного сопротивления, а затем и ток.

35. Измерение разности фаз между током и напряжением в цепи переменного тока

Оборудование: выпрямитель 300/1600 *в*, блок электронно-лучевой трубки, школьный трансформатор, ламповый реостат (для нагрузки трансформатора), соединительные провода, реостат 10 *ом*.

Собирают осциллограф, включают генератор напряжения развертки и электронный переключатель. На сердечник трансформатора надевают две катушки: 220 *в* и 120 *в*. Обмотку первой катушки включают в сеть, она будет первичной. Последовательно с первичной обмоткой включают реостат (10 *ом*).

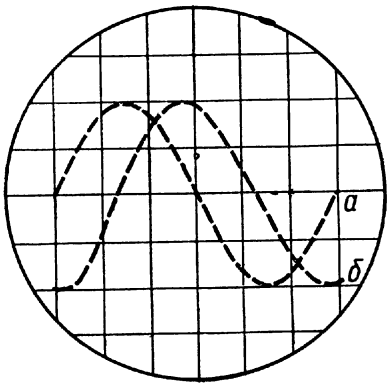

Рис. 73. Кривые тока и напряжения в цепи первичной обмотки ненагруженного трансформатора. Разность фаз близка к 90°. *а* — кривая напряжения; *б* — кривая тока.

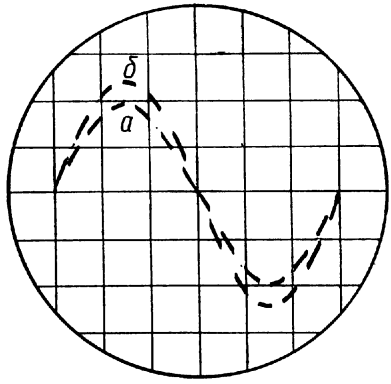

Рис. 74. Кривые: тока *(б)* и напряжения *(а)* в цепи первичной обмотки нагруженного трансформатора.

С вторичной обмоткой трансформатора (120 *в*) соединяют ламповый реостат (лампы надо взять 220 *в*, чтобы их свет не слепил учащихся).

На один из входов выпрямителя подают напряжение, приложенное к первичной обмотке трансформатора, а на второй вход — напряжение с концов реостата 10 *ом*. Последняя кривая изображает изменение тока в цепи первичной обмотки трансформатора.

Кривые на экране устанавливают так, чтобы ось абсцисс у них была общей. Для ненагруженного трансформатора кривые тока и напряжения на экране примут вид, показанный на рисунке 73. Если подобной фигуры не получилось, перемените местами провода на первом или втором входе или на обоих входах.

Повернув ручку «Усиление» у входа выпрямителя, на который подают напряжение от первичной обмотки трансформатора,

увидим, что одна из кривых изменит свою форму. Так отмечают на экране кривую напряжения. Амплитуды кривых надо установить почти одинаковыми — это уменьшит ошибку измерения.

В образовавшейся на экране картине более ранние события изображены левее. Следовательно, ток достигает максимума позже напряжения. Чтобы узнать запаздывание, нужно измерить расстояние между вершинами двух кривых и вычислить разность фаз. Она будет близка к 90°.

Нагружая вторичную обмотку, мы увидим, что амплитуда кривой тока растет, а разность фаз убывает. Когда нагрузка составит около 400 *вт,* разность фаз будет близка к нулю (рис. 74).

36. Конденсатор в цепи переменного тока

Оборудование: выпрямитель 300/1600 *в,* блок электронно-лучевой трубки, конденсатор (0,1 *мкф*, 400 *в*), сопротивление (1 *ком,* 2 *вт*), соединительные провода.

Собираем электронный осциллограф и схему, показанную на рисунке 75 (если будет нарушено соответствие гнезд, кривая

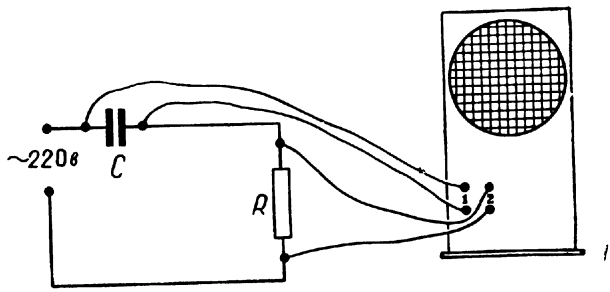

Рис. 75. Установка для изучения явлений в цепи переменного тока, содержащей конденсатор.

будет перевернута). Включаем генератор напряжения развертки и электронный переключатель. На первый вход подаем напряжение, приложенное к конденсатору, на второй — напряжение на сопротивлении (пропорциональное току через конденсатор). Чтобы узнать, какая из кривых изображает ток, слегка вращаем ручку «Усиление» у того входа, к которому присоединены соответствующие провода. Учащимся будет легче разобраться в схеме, если соединительные провода будут разной расцветки. Кривые на экране устанавливаем так, чтобы ось X у них была общей.

Из наблюдения следует вывод, что ток, проходящий через конденсатор, по фазе опережает напряжение, приложенное к конденсатору, на 90°.

37. Наблюдение разности фаз напряжений в цепи трехфазного тока

Оборудование: выпрямитель 300/1600 *в*, блок электронно-лучевой трубки, соединительные провода.

Собираем электронный осциллограф, включаем генератор напряжения развертки и электронный переключатель. Подаем на первый вход напряжение первой фазы, на второй вход — напряжение второй фазы. Кривые располагаем так, чтобы ось *X* была общей. Находим, что разность фаз составляет 120°. Включаем на первый вход напряжение третьей фазы, отмечаем, что оно сдвинуто на 240° по отношению к первому и на 120° по отношению ко второму.

38. Наблюдение релаксационных колебаний

Оборудование: выпрямитель 300/1600 *в*, блок электронно-лучевой трубки, релаксационный генератор на неоновой лампе, соединительные провода, штатив.

Релаксационный генератор для этого опыта собирается на небольшой пластинке из гетинакса или другого диэлектрика. Питание генератор получает от выпрямителя (необходимо постоянное напряжение 150—300 *в*). Схема генератора очень проста (см. рис. 76). Для его изготовления может быть использована неоновая лампа любой марки. Нужно только иметь в виду, что сигнальные лампы предназначенные для включения в цепь с напряжением 127 и 220 *в*, имеют в цоколе добавочное сопротивление, которое необходимо отключить, что сопряжено с разборкой цоколя. Поэтому удобнее взять для генератора лампу МН-3.

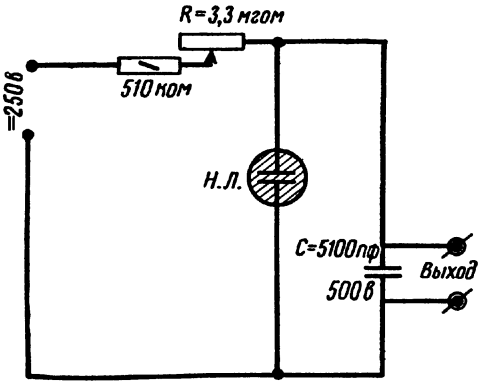

Рис. 76. Схема релаксационного генератора на неоновой лампе.

Собирают из выпрямителя и блока электронно-лучевой трубки осциллограф, включают генератор напряжения развертки. На один из входов подают напряжение с конденсатора релаксационного генератора. Подбирают частоту развертки и получают на экране неподвижную картину изменения напряжения на конденсаторе. Уменьшив сопротивление, увидим на экране не один, а два зубца пилы — частота генератора удвоилась.

Процесс генерации будет понятен учащимся лишь в том случае, если они ясно понимают, что зажигание и потухание лампы

происходит при различных потенциалах. Для этого полезно собрать цепь из сопротивления и неоновой лампы и, меняя приложенное к лампе напряжение выпрямителя, наблюдать зажигание и погасание неоновой лампы при изменении напряжения. Опыт должен предшествовать демонстрации генератора. Объяснение работы генератора можно предоставить учащимся.

Опыт знакомит учащихся с одним из методов получения пилообразного напряжения для развертки электронного луча.

39. Наблюдение кривых выпрямленного тока

Оборудование: выпрямитель 300/1600 *в*, блок электронно-лучевой трубки, тиратронный выпрямитель, конденсатор, соединительные провода.

Соберите электронный осциллограф, включите генератор напряжения развертки и электронный переключатель (рис. 77).

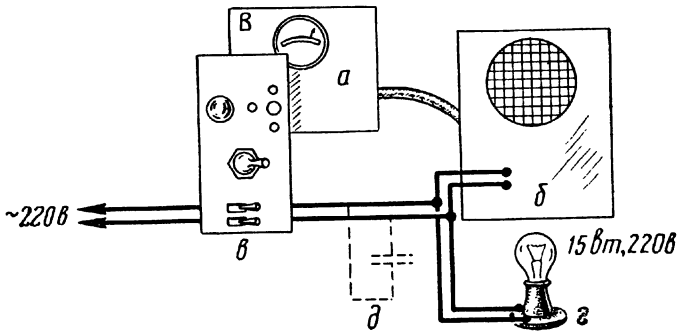

Рис. 77. Установка для наблюдения кривых выпрямленного тока:

а — выпрямитель 300/1600 *в*; *б* — блок электронно-лучевой трубки; *в* — тиратронный выпрямитель; *г* — нагрузка; *д* — электролитический конденсатор.

Убедившись, что анодное напряжение отключено от тиратрона, включите тиратронный выпрямитель в сеть, в качестве нагрузки включите электрическую лампу (15 *вт*, 220 *в*). Подайте на первый вход напряжение нагрузки, а на второй — контрольный сигнал. Разведите кривые так, чтобы одна располагалась в верхней части экрана, а другая — в нижней. Усиление должно быть очень небольшим.

Параллельно лампе включите электролитический конденсатор емкостью 10 *мкф* на напряжение 450 *в*. Предварительно необходимо проверить, какое гнездо выпрямителя является положительным, а какое отрицательным электродом. Корпус электролитического конденсатора должен быть присоединен к отрицательному электроду.

Отметьте изменения выпрямленного напряжения, вызванные подключением конденсатора (рис. 78).

40. Наблюдение осциллограмм различных звуков

Оборудование: выпрямитель 300/1600 *в*, блок электронно-лучевой трубки, громкоговоритель электродинамический, два камертона (256 и 512 *гц*), скрипка или рожок.

Собирают электронный осциллограф, включают генератор напряжения развертки. Частоту развертки берут около 256 *гц*. На вход осциллографа включают громкоговоритель, который в этом случае является электродинамическим микрофоном. Звучащий камертон располагают перед громкоговорителем. На экране появится синусоида. Вращая ручки управления громкоговорителем, надо добиться, чтобы на экране получилось отчетливое, неподвижное и устойчивое изображение синусоиды.

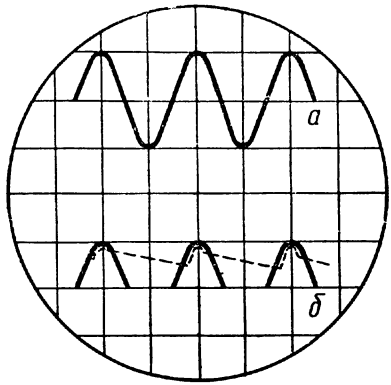

Рис. 78.

а — кривая напряжения сети; *б* — кривая тока через лампу. Пунктиром показана кривая тока через лампу при конденсаторе, включенном параллельно нагрузке.

Опыт первый. Наблюдают синусоиду, представляющую график колебаний камертона. Отмечают, что по мере ослабления звука уменьшается амплитуда колебания (при неизменной форме и частоте). Делают вывод о связи между громкостью звука и амплитудой колебаний звучащего тела.

Опыт второй. Помещают звучащий камертон перед микрофоном (с числом колебаний 256), затем заменяют его камертоном, звучащим на октаву выше. Отмечают, что период его колебаний в два раза меньше (в этом случае нельзя трогать ручку регулирования частоты). Делают вывод, что высота звука определяется числом колебаний в секунду (или периодом колебаний) звучащего тела.

Опыт третий. Получают осциллограмму звучащего камертона, зарисовывают форму кривой. Затем берут на скрипке тон такой же высоты и зарисовывают осциллограмму колебаний струны.

Делают вывод, что ухо человека обладает способностью различать не только громкость и высоту звука, но и тембр.

41. Наблюдение осциллограмм гласных звуков

Оборудование: выпрямитель 300/1600 *в*, блок электронолучевой трубки, электродинамический громкоговоритель с трансформатором.

Собирают электронный осциллограф и включают на один из входов громкоговоритель. Он будет служить микрофоном. Включают генератор развертки и подносят к микрофону звучащий камертон (440 *гц*). Подбирают частоту развертки так, чтобы на экране получить изображение двух полных колебаний.

Опыт первый. Поют перед микрофоном различные гласные звуки: **а, о, и, у, э** так, чтобы высота тона точно соответствовала звучанию камертона. Наблюдают на экране осциллограммы, соответствующие каждому звуку. Учащимся предлагают зарисовывать осциллограммы в тетради и сравнивать их.

Если певец возьмет звук чуть выше или ниже, то кривая будет двигаться по экрану. Меняя высоту тона, можно останавливать ее движение. Для этого поющий должен видеть экран. (Чтобы экран был виден и поющему, и всем учащимся, блок электронно-лучевой трубки надо поставить на подставку.) Остановить кривую можно и вращением ручки «Частота плавно», тогда поющий должен сам управлять осциллографом.

Опыт второй. Вызывают по очереди нескольких учащихся к микрофону и просят пропеть один и тот же звук. На экране наблюдают за изменением формы осциллограммы одного и того же звука у разных людей.

42. Наблюдение кривой намагничивания стали

(кривая Столетова)

Оборудование: выпрямитель 300/1600 *в*, блок электронно-лучевой трубки, школьный трансформатор с катушками 220 *в* и 120 *в*, амперметр до 5 *а*, реостаты сопротивлением 250 *ом* (2 *а*) и 30 *ом* (2 *а*), переменное сопротивление (47 *ком*), постоянное сопротивление (5 *ком*, 2 *вт*), конденсатор емкостью 1 *мкф*, соединительные провода.

Для получения на экране кривой Столетова необходимо, чтобы отклонения луча по горизонтали были пропорциональны вектору H. В нашем случае будет исследоваться намагничивание стального сердечника трансформатора, в котором магнитное поле возбуждается протекающим по обмотке током. Напряженность магнитного поля будет прямо пропорциональна величине тока, и если в первичную обмотку включить реостат (30 *ом*), то напряжение на нем будет пропорционально вектору H. Напряжение на реостате $U_н$ используется для горизонтального отклонения луча. Генератор напряжения развертки в этом случае работать не должен.

Отклонение луча по вертикали должно быть пропорционально вектору B. Электродвижущая сила индукции на концах вторичной обмотки пропорциональна $\frac{dB}{dt}$. Поэтому, чтобы получить напряжение, пропорциональное B, в цепь вторичной

обмотки трансформатора включают интегрирующую цепь R_3C. Напряжение на конденсаторе будет пропорционально:

$$U_c = K \int \frac{dB}{dt}\, dt = K_1 B.$$

Таким образом, напряжение на конденсаторе будет пропорционально вектору B, и его можно будет использовать для отклонения луча по вертикали. Чтобы цепочка R_3C обладала интегрирующими свойствами, необходимо, чтобы выполнялось условие:

$$R_3C \gg \frac{1}{2\pi f},$$

где f—частота тока.

С другой стороны, чтобы напряжение на конденсаторе совпадало по фазе с возникающей в обмотке электродвижущей силой, сопротивление конденсатора должно быть значительно меньше сопротивления R_3.

Схема установки приведена на рисунке 79. В цепь переменного тока (220 *в*) включена катушка трансформатора на 120 *в*.

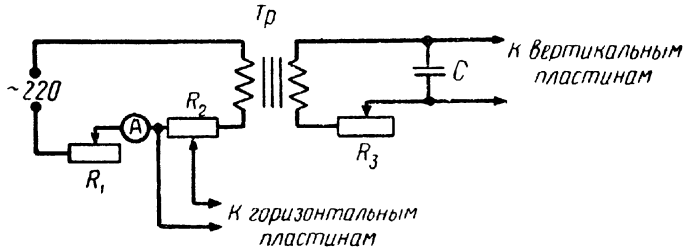

Рис. 79. Схема установки для наблюдения кривой Столетова.

Тр — трансформатор; R_1 — реостат 250 *ом*, 2 *а*; R_2 — реостат 10 *ом*, 2 *а*; R_3 — переменное сопротивление 47 *ком*, 2 *вт*; C — конденсатор 1 *мкф*.

Это позволяет за счет кратковременной перегрузки подойти к насыщению стали.

Для наблюдения кривой движок реостата ставят в такое положение, чтобы ток в обмотке был минимальным. С помощью реостата R_2, сопротивления R_3 и ручки «Усиление» устанавливают необходимый размер изображения. Необходимо иметь в виду, что уменьшение сопротивления позволяет увеличить размер изображения по горизонтали, но сопровождается искажением формы кривой и перегрузкой сопротивления R_3. Поэтому желательно ограничиться по горизонтали размером изображения около 20 *мм*.

Увеличивают ток в первичной катушке и наблюдают изменения кривой Столетова. Учащимся предлагают зарисовать на

одном рисунке вид кривой для различных токов. Реостаты и трансформатор будут несколько перегружены при последнем наблюдении. Это пройдет для них без вреда, если время включения не превысит 30 *сек*.

ОПЫТЫ С УСИЛИТЕЛЕМ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Правила обращения с усилителем низкой частоты очень несложны:

1. Без необходимости не подавать на анод напряжение больше, чем 250 *в*.
2. Не перегружать усилитель.

Перегрузка не только неприятна для слуха, но представляет опасность для изоляции обмоток выходного трансформатора и способствует ускоренному износу диффузора.

43. Принцип действия усилителя низкой частоты

Оборудование: выпрямитель 300/1600 *в*, блок электронно-лучевой трубки, усилитель низкой частоты, соединительные провода, релаксационный генератор.

1-й вариант. Собираем электронный осциллограф, подключаем усилитель низкой частоты к выпрямителю. Включаем генератор напряжения развертки и электронный переключатель. Динамик усилителя выключаем. Подаем на оба хода осциллографа контрольный сигнал и добиваемся, чтобы при самом незначительном усилении амплитуды кривых были одинаковы. После этого подаем контрольный сигнал на один из входов осциллографа и на вход усилителя низкой частоты. Регулятор громкости ставим на минимум. Усиленный сигнал с выхода усилителя подаем на второй вход осциллографа. Кривые смещаем так, чтобы они располагались одна над другой. Динамик оставляем выключенным.

Наблюдаем на экране осциллографа вид сигнала на входе и на выходе усилителя. Из наблюдения заключаем, что усилитель практически не изменил ни частоты, ни формы сигнала (синусоиды), а лишь увеличил амплитуду сигнала. Отсюда следует, что усилитель за счет внешнего источника отдает на выходе энергии больше, чем подано на его вход.

Возможен другой вариант опыта, в котором на вход усилителя и на один из выходов осциллографа подают сигнал от релаксационного генератора. Полный сигнал обычно слишком велик. Поэтому выход релаксационного генератора нагружают потенциометром и снимают для исследования и усиления ослабленный сигнал.

44. Обратная акустическая связь. Звуковой генератор

Оборудование: выпрямитель 300/1600 *в*, усилитель низкой частоты, микрофон (или электродинамический громкоговоритель).

Присоединяют усилитель низкой частоты к выпрямителю и включают на вход микрофон с длинным шнуром. Анодное напряжение устанавливают около 250 *в*. Регулятор громкости ставят на нуль. Микрофон располагают перед громкоговорителем усилителя на расстоянии около 1 *м*. В этом положении должны быть слышны лишь шорохи и легкий фон переменного тока. Вращают регулятор громкости. При некотором положении регулятора громкости усилитель начнет генерировать и будет слышен резкий звук. Эти регулировки должны быть выполнены перед уроком.

1-й вариант. Вводится понятие об обратной связи: «Обратная связь есть устройство, позволяющее часть энергии с выхода системы направить на ее вход». Достигается это обычно за счет наличия индуктивной связи между входом и выходом системы. Перед микрофоном, на расстоянии 3—4 *м* от него, произносится несколько слов, чтобы учащимся было ясно, что стоящее на столе устройство работает как усилитель (правда, коэффициент усиления в этом опыте очень мал). Затем приближают микрофон к усилителю, обращая внимание учащихся на взаимное расположение микрофона (вход) и динамика (выход усилителя). Когда расстояние сократится до 1 *м*, усилитель самовозбуждается, слышен высокий звук. Отмечаем это положение. Уменьшаем расстояние еще более — генерация усиливается.

Опыт позволяет ввести понятие о критической связи и сделать вывод: усилитель, дополненный обратной связью, превращается в самовозбуждающийся генератор.

2-й вариант. Получают звуковую генерацию, как в предыдущем опыте. Вдвигают между микрофоном и усилителем лист фанеры, картона,— генерация исчезает. Отмечают положение, соответствующее критической связи.

3-й вариант. Если микрофон имеет направленную характеристику, то, вращая его вместе с подставкой вокруг вертикальной оси, можно уменьшить связь, и генерация прекратится. Можно, развивая этот опыт, исследовать диаграмму направленности микрофона, определяя расстояние, соответствующее критической связи для различных положений микрофона. Надо иметь в виду отражение звука от стен класса. На открытом воздухе этот метод даст более точные результаты. Искажение результата связано также с тем, что динамик усилителя можно лишь в грубом приближении считать точечным источником звука, для которого справедлив закон квадратов расстояний.

45. Отражение звука

Оборудование: выпрямитель 300/1600 *в*, усилитель низкой частоты, микрофон, ящик для микрофона, обитый материей, лист фанеры.

На рисунке 80 показано (в плане) расположение приборов для опыта. Если перед микрофоном и усилителем поставить лист

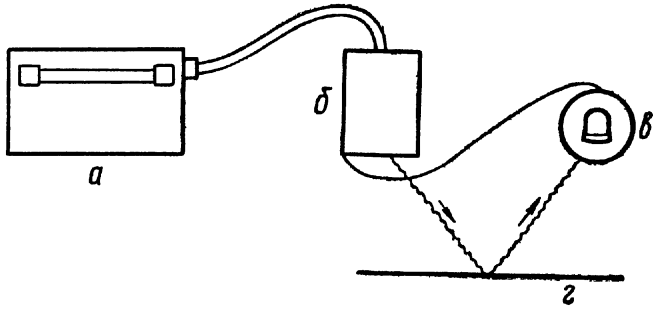

Рис. 80. План установки для наблюдения отражения звука:
а — выпрямитель 300/1600 *в*; *б* — усилитель низкой частоты; *в* — микрофон электродинамический; *г* — лист фанеры.

стекла, металла или фанеры, возникает генерация. Если лист убрать — генерация обрывается (для успеха опыта необходимо подобрать усиление громкости регулятором).

Из наблюдений вытекает, что генерация возникает благодаря отражению звука от различных преград.

46. Наблюдение радиоактивного распада

Оборудование: выпрямитель 300/1600 *в*, усилитель низкой частоты, радиоактивный препарат от школьной камеры Вильсона, счетная трубка в экране, подъемный столик, штатив.

Для осуществления опыта требуется счетная трубка, которую нужно смонтировать на пластине гетинакса (эбонита, оргстекла) и заключить в экран.

Счетная трубка представляет собой двухэлектродный газополный прибор. Два ее электрода образуют цилиндрический конденсатор. Катодом является цилиндр, вдоль оси которого натянута тонкая проволока, являющаяся анодом. Рабочее напряжение составляет или 700—1200 *в* (для счетчиков марки СМ), или 300—400 *в* (для счетчиков марки СТС). В условиях школы следует отдать предпочтение счетчикам СТС, требующим меньшее напряжение. Ток, потребляемый счетчиком, составляет доли миллиампера. Из нескольких имеющихся счетчиков следует предпочесть тот, который меньше остальных по размерам — у него

обычно меньше фон космического излучения. Оба типа счетчиков предназначены для регистрации гамма-фотонов.

Схема включения счетной трубки показана на рисунке 81. Счетчик, конденсатор и сопротивление размещают на небольшой пластинке из гетинакса, которую вставляют в металлический экран и закрепляют винтом (рис. 82). Экран предохраняет оператора от случайных прикосновений к частям, находящимся под высоким напряжением. Провод от катода счетной трубки должен иметь надежную изоляцию. Для трубки СМ конденсатор должен быть рассчитан на рабочее напряжение 1500 *в*. Для трубки СТС достаточно иметь конденсатор с рабочим напряжением 600 *в*. При подборе деталей желательно придерживаться указаний, имеющихся в паспорте счетной трубки. Оба провода, соединяющие трубку со входом усилителя, во избежание наводок, должны быть экранированы.

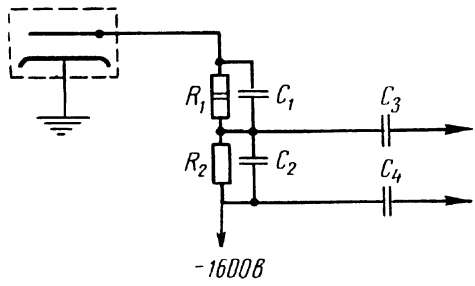

Рис. 81. Схема включения искрового счетчика..

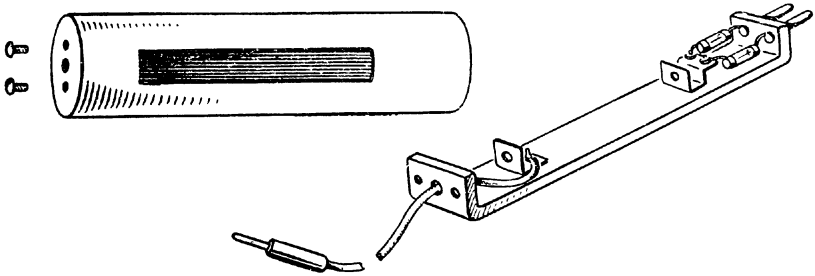

Рис. 82. Футляр и держатель счетной трубки.

Для наблюдения собираем усилитель низкой частоты и включаем на вход счетную трубку. Провод от катода счетной трубки включаем в соответствующее гнездо выпрямителя, потенциометр ставим в такое положение, чтобы на трубку было подано минимальное напряжение. Радиоактивный препарат от камеры Вильсона зажимаем в штативе (не вынимая из стеклянной пробирки, в которой он хранится) и приближаем к счетчику (счетной трубке). Регулятор громкости ставим в среднее положение, включаем все напряжения и, выждав время, необходимое для нагрева катодов, начинаем увеличивать напряжение на катоде счетной трубки. По достижении границы рабочего напряже-

ния счетчика, послышатся щелчки. С увеличением напряжения громкость щелчков возрастает. (Если перейти верхнюю границу, а она всего на 100—200 *в* превышает потенциал начала счета счетчика СМ, то возникает непрерывный разряд, который выводит счетчики из строя.) После того как необходимое напряжение на счетчик подано и установка работает устойчиво, можно приступить к наблюдениям.

Первый опыт

Наблюдают фон космических частиц. Никаких препаратов близко не должно быть. Считают щелчки в течение двух минут и определяют уровень фона. Записывают его. Во всех последующих опытах результат уменьшают на величину фона.

Второй опыт

Помещают на столик возле счетчика различные минералы, соли. Необходимо иметь коллекцию гранитов, сланцев, пород, содержащих уран, торий, соли урана или тория. Счетчик позволяет выделить из этих минералов, веществ, предметов те, которые обладают радиоактивностью. Делается вывод о существовании в природе веществ, обладающих особым свойством, проявляющемся в способности действовать на счетчик.

Третий опыт

Помещают на столик радиоактивный препарат, из числа отобранных во втором опыте. Помещают между счетчиком и препаратом куски свинца (толщиной от 1 *мм* до 10 *мм*). Делают вывод, что по своим свойствам излучение препарата более всего походит на лучи рентгена, но значительно жестче.

Четвертый опыт

Берут препарат не очень большой активности и помещают его на расстоянии, примерно равном длине трубки. Определяют число щелчков в минуту. Увеличивают расстояние в два раза и вновь определяют число щелчков в минуту, оно оказывается в 4 раза меньше. Делают вывод, что для излучения справедлив закон квадратов расстояний, откуда следует, что частицы, вызывающие работу счетчика, летят из препарата прямолинейно.

Эти наблюдения должны предшествовать изучению радиоактивности. Разбирать механизм счета нет необходимости, поскольку факт наличия в природе радиоактивных веществ может быть установлен без этого.

Конструкция самодельной счетной трубки дана на рисунке 83. Чувствительной к прохождению частицы является область между нитью и плоскостью. Счетчик регистрирует прохождение только альфа-частиц. В момент прохождения альфа-частицы между нитью и плоскостью возникает искровой разряд, который легко наблюдается с небольшого расстояния. Так как альфа-

частицы имеют пробег не свыше 6—8 *см* и легко поглощаются, то заключать счетчик в экран нецелесообразно. Но это обязывает к особой осторожности при работе с ним.

Перемещение и замену препаратов и экранов можно производить только при выключенном высоком напряжении.

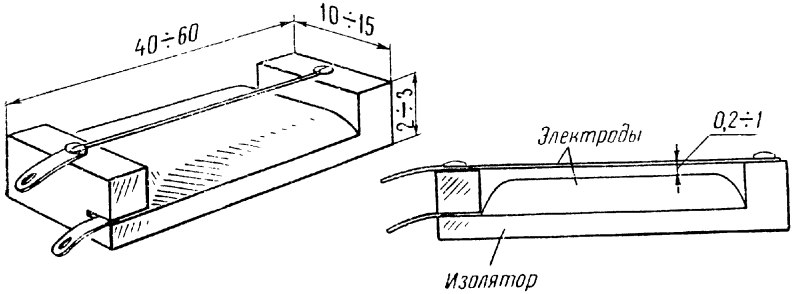

Рис. 83. Самодельный искровой счетчик.

С искровым счетчиком можно поставить следующие опыты: обнаружение радиоактивности, поглощение альфа-частиц в различных веществах, отклонение альфа-частиц в магнитном поле.

47. Воспроизведение грамзаписи

Оборудование: выпрямитель 300/1600 *в*, усилитель низкой частоты, проигрыватель, грампластинки.

Подключают усилитель низкой частоты к выпрямителю и включают на вход провода от звукоснимателя. Если при проигрывании пластинки слышимость очень слабая, нужно поменять провода от звукоснимателя местами.

Опыт первый

Настроив установку, мягко ударяют по игле деревянной палочкой (толщиной 3—4 *мм*). Сначала удар направляют перпендикулярно оси иглы, а потом вдоль оси. Отмечают, что в первом случае звук громче. Из этого заключают, что звукосниматель генерирует большую электродвижущую силу при перемещении иглы в направлении, перпендикулярном ее оси.

Опыт второй

Проигрывают пластинку в том месте, где тихие звуки сменяются громкими. Дают учащимся рассмотреть в лупу дорожку на этом участке пластинки. Для этого наклеивают на пластинку лист бумаги с вырезом в нужных частях. Учащиеся убеждаются в том, что дорожка изогнута и потому заставляет иглу при движении вдоль дорожки совершать колебания в плоскости, перпендикулярной оси дорожки и проходящей через ось иглы.

48. Прием на детекторный приемник

Оборудование: выпрямитель 300/1600 *в*, усилитель низкой частоты, детекторный приемник, соединительные провода, антенна.

Собираем установку, присоединяем выход детекторного приемника на вход усилителя низкой частоты. Присоединяем к приемнику комнатную антенну и заземление.

Вращая пластины конденсатора, настраиваем на частоту местной или мощной центральной радиостанции и получаем громкоговорящий прием.

ОПЫТЫ С ТИРАТРОННЫМ ВЫПРЯМИТЕЛЕМ, УПРАВЛЯЕМЫМ ФОТОЭЛЕМЕНТОМ

Для краткости будем именовать это устройство тиратронным выпрямителем. Из самого названия видно, что в устройстве имеется тиратрон. Важно помнить, что на анод тиратрона нельзя подавать напряжение, пока катод достаточно не прогреется.

49. Бесконтактное регулирование в цепях электрического тока

Оборудование: тиратронный выпрямитель, лампа настольная, электрическая лампа (15 *вт*, 220 *в*, в патроне), блок электронно-лучевой трубки, школьный трансформатор, конденсатор, реостат, соединительные провода.

Сняв корпус с выпрямителя, показывают его основные детали: фотоэлемент, тиратрон, конденсаторы, сопротивления. Обращают внимание учащихся на отсутствие электромагнитного реле. Затем вновь надевают корпус. Переключатель рода работы ставится в положение «свет». В этом положении ток через нагрузку тем больше, чем больше освещенность фотоэлемента.

Первый опыт

Освещают фотоэлемент настольной лампой или поворачивают его к окну, если опыт производится в ясный день. Включают в качестве нагрузки лампу 15 *вт*, 220 *в*. Листом картона закрывают отверстие, сквозь которое свет падает на фотоэлемент,— лампа гаснет. Медленно открывают отверстие — лампа включается и по мере увеличения освещения фотоэлемента светит все ярче и ярче.

Опыт демонстрирует возможность включения, выключения и регулирования в цепи электрического тока без использования контактов, рубильников, реле, реостатов и других приборов.

Второй опыт

Подключают к выпрямителю блок электронно-лучевой трубки, включают генератор напряжения развертки и подают на вход

осциллографа напряжение, приложенное к лампе питаемой тиратронным выпрямителем. Получают неподвижную осциллограмму тока через лампу. Меняя освещенность фотоэлемента, наблюдают изменение осциллограммы выпрямленного тока.

50. Наблюдение влияния обратных связей на работу электронного устройства

Оборудование: лампочки от карманного фонаря, батарея 4,5 *в*, ключ телеграфный, лампа 15 *вт*, 127 *в* с патроном и длинным шнуром, тиратронный выпрямитель, подъемные столики.

Выпрямитель, лампу 15 *вт* и лампочку от карманного фонарика ставят на подъемные столики. Высоту столиков подбирают так, чтобы электрические лампочки освещали фотоэлемент, когда столик с лампочкой подвинут к выпрямителю.

Из батареи, телеграфного ключа (или кнопки) и лампочки от карманного фонаря собирают цепь. Тиратронный выпрямитель включают в сеть, комнату затемняют.

Опыт первый

Обращают внимание учащихся на цепь с лампочкой от карманного фонаря. Периодически нажимают на ключ, лампочка периодически зажигается. Делают заключение, что лампочка может служить источником световых импульсов.

Ставят переключатель рода работы выпрямителя в положение «Темнота». Лампу 15 *вт* отодвигают далеко в сторону, лампочку 4,5 *в* ставят перед фотоэлементом.

Периодически нажимают на ключ и отпускают его. Удаленная лампа (15 *вт*) так же периодически зажигается и гаснет. Из опыта делают вывод, что выпрямитель является «усилителем световых колебаний». Фотоэлемент является входом этого устройства, а лампа 15 *вт* — его выходом.

Введем теперь обратную связь. Для этого уберем столик с лампочкой 4, 5 *в* и против фотоэлемента на расстоянии около 1 *м* поставим лампу 15 *вт*. Часть света с выхода через отверстие в корпусе может попадать теперь на вход «Усилителя».

Будем медленно приближать лампу к фотоэлементу. При некотором положении система самовозбудится и начнет генерировать.

Делаем вывод: обратная связь, добавленная к усилителю, превратила его в генератор. Отмечаем необходимое условие самовозбуждения генератора: связь должна быть больше критической.

Опыт второй

Ставим переключатель рода работы в положение «Свет». При этом лампа 15 *вт* светит тем ярче, чем больше света падает на фотоэлемент. Отставляем лампу 15 *вт* в сторону, перед фотоэле-

ментом помещаем лампу 4,5 *в*. Вновь возбуждаем «световые колебания» ключом, лампа 15 *вт* воспроизводит их в усиленном виде. Казалось бы, что мы имеем такой же, как и прежде, усилитель света. Убираем лампочку 4,5 *в* и вводим прежним приемом обратную связь, приближая в затемненной комнате потухшую (фотоэлемент не освещен!) лампу 15 *вт* к фотоэлементу. Останавливаемся, когда лампа 15 *вт* будет в 20 *см* от фотоэлемента. Связь, судя по предыдущему опыту, явно больше критической, но самовозбуждения не происходит, система находится в устойчивом состоянии: лампа не светит, фотоэлемент не освещен. Система может оставаться в этом состоянии сколь угодно долго, это — состояние равновесия. Зажигаем спичку и подносим ее к лампе 15 *вт* — лампа вспыхивает. Фотоэлемент освещен ею. Лампа имеет полный накал и это может продолжаться как угодно долго.

Между лампой и фотоэлементом на мгновение помещаем ладонь, тетрадь или книгу, лампа вновь гаснет. Повторяем эти опыты при различных положениях лампы и убеждаемся, что и в этом случае существует критическая связь. Чтобы усилитель превратился в реле, надо, чтобы обратная связь была больше критической.

Делаем вывод: усилитель после введения обратной связи превратился в систему с двумя устойчивыми состояниями. Благодаря внешнему воздействию генератор может скачком перейти от одного из этих состояний к другому. Такая система называется реле.

Обсуждая результаты этих двух опытов (которые желательно полностью повторить), приходим к выводу, что обратная связь определяется фазовыми соотношениями. В первом случае увеличение света на входе приводило к уменьшению света на выходе, а во втором случае увеличение света на входе приводило к увеличению света на выходе. Обратная связь, в зависимости от соотношения фаз, обладает разными свойствами: может быть двух разных видов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Можно указать еще много опытов из разных разделов курса физики, которые могут быть поставлены с помощью описанного набора. Особенно много можно было бы добавить опытов с осциллографом: наблюдение формы колебаний маятника, растяжения упругих тел, характеристик электронных приборов, измерение времени быстро протекающих процессов и пр. Не меньше возможностей дают и другие аппараты: высоковольтный выпрямитель, выпрямитель 300/1600 *в*, усилитель низкой частоты. Мы описанными опытами ограничимся, так как пособие не является руководством по физическому эксперименту, а приведенные опыты дают достаточное представление о тех возможностях, какие получает учитель физики, построив описанный набор.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3

Глава I.

1. Как изготовить набор электронных приборов 5
   Состав набора . . . . . —
   Некоторые общие принципы конструирования . . . . . —
   Станок для намотки 6
   Панель 7
   Штепсельные разъемы 10
   Кабель 11
   Паяние 12
   Ручки 13
   Техника безопасности . . . . . —
2. Высоковольтный выпрямитель 14
   Общая характеристика . . . . . —
   Детали и приборы, образующие высоковольтный выпрямитель . . 17
      а) Повышающий (главный) трансформатор . . . . . —
      б) Трансформатор накала 23
      в) Ограничивающее сопротивление 24
      г) Корпус выпрямителя 25
   Сборка выпрямителя 26
   Испытание выпрямителя 29
   Определение режима работы 31
3. Выпрямитель на 300/1600 *в* 35
4. Блок электронно-лучевой трубки 42
5. Усилитель низкой частоты 55
6. Тиратронный выпрямитель, управляемый фотоэлементом 64

Глава II.

Опыты с набором электронных приборов 69
Общие замечания о постановке опытов . . . . . —
Опыты по электростатике 71
   1. Наблюдение электрического и магнитного поля в цепи электрического тока . . . . . —
   2. Электризация прикосновением. Электрический заряд 73
   3. Взаимодействие зарядов. Два рода электричества 74
   4. Электроскоп и электрометр 76
   5. Нейтрализация разноименных электрических зарядов . . . . —
   6. Электрический маятник 77
   7. Закон Кулона . . . . . —
   8. Измерение напряженности электрического поля 80
   9. Проводники и непроводники электричества . . . . . —
   10. Электростатическая индукция . . . . . —
   11. Термоэлектронная эмиссия 82
   12. Наблюдение катодных лучей в трубке со звездой 84

13. Наблюдение катодных лучей в трубке с мельницей 84
14. Наблюдение катодных лучей в трубке со щелью 85
15. Распределение зарядов на поверхности проводника . . . . . —
16. Распределение зарядов на поверхности тела неправильной формы 86
17. Стекание электрических зарядов с острия 87
18. Связь между потенциалом, зарядом и емкостью проводника . —
Наблюдение токов в газе и вакууме с помощью высоковольтного выпрямителя . . . . . —
19. Коронный разряд . . . . . —
20. Принцип работы электрофильтра 88
21. Кистевой разряд 89
22. Искровой разряд . . . . . —
23. Дуга . . . . . —
24. Возникновение газового разряда при уменьшении давления . . 90
25. Свечение гейслеровых трубок . . . . . —
26. Свечение перегоревших люминесцентных ламп . . . . . —
27. Свечение рекламных трубок 91
28. Наблюдение свойств рентгеновских лучей . . . . . —
29. Наблюдение рентгеновских лучей с помощью трубки со звездой 92
30. Опыты с моделью генератора импульсов напряжения (ГИН) В. К. Аркадьева 93
Опыты с электронно-лучевой трубкой и выпрямителем на 300/1600 *в* . 95
31. Отклонение электронного луча электрическим полем 96
32. Отклонение электронного луча магнитным полем . . . . . —
33. Принцип работы электронного осциллографа 97
34. Измерение переменного напряжения и тока . . . . . —
35. Измерение разности фаз между током и напряжением в цепи переменного тока 99
36. Конденсатор в цепи переменного тока 100
37. Наблюдение разности фаз напряжений в цепи трехфазного тока 101
38. Наблюдение релаксационных колебаний . . . . . —
39. Наблюдение кривых выпрямленного тока 102
40. Наблюдение осциллограмм различных звуков 103
41. Наблюдение осциллограмм гласных звуков . . . . . —
42. Наблюдение кривой намагничивания стали 104
Опыты с усилителем низкой частоты 106
43. Принцип действия усилителя низкой частоты . . . . . —
44. Обратная акустическая связь. Звуковой генератор 107
45. Отражение звука 108
46. Наблюдение радиоактивного распада . . . . . —
47. Воспроизведение грамзаписи 111
48. Прием на детекторный приемник 112
Опыты с тиратронным выпрямителем, управляемым фотоэлементом . . —
49. Бесконтактное регулирование в цепях электрического тока . . —
50. Наблюдение влияния обратных связей на работу электронного устройства 113
Заключение 114

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
15	17 и 18 сверху	$Л_2$, поэтому на	$Л_2$. На
23	18 сверху	размеры трансформатора	размеры сердечника трансформатора
24	17 и 18 снизу	падение напряжения	напряжение
24	16 снизу	» »	»
37	4 снизу	двухтактное	двухваттное
42	8 сверху	выключатель *3*	выключатель *2*
43	19 снизу	цилиндра	электрода *г*
49	13 снизу	их	одно из них
63	11 сверху	$C_п$ и R_{C_2}	C_3 и R_5
80	17 снизу	Соединяем разрядником шар	Соединяем шар
83	3 снизу	потенциал	напряжение
106	21 снизу	хода	входа
109	3 сверху	рисунке 81	рисунке 45

Цена 2 руб. 40 коп.
С 1/I 1961 г.— 24 коп.